



# **FORSCHUNGSBERICHT AUS DER WEHRMEDIZIN**

**FBWM**

**DISTRIBUTION STATEMENT A**

Approved for Public Release  
Distribution Unlimited

**Erarbeitung von Belastungsprofilen der Wirbelsäule  
bei Hubschrauberpiloten aus biomechanischer,  
orthopädischer, arbeitsmedizinischer,  
anthropometrischer und schwingungstechnischer Sicht**

**BEST AVAILABLE COPY**

**DOK/Bw/0050/82**

**20041110 064**

**Schutzgebühr DM 50,00**

**Dieses Heft enthält einen Bericht über eine  
vom Bundesministerium der Verteidigung,  
InSanI, geförderte Arbeit.  
Verantwortlich für den Inhalt dieses Berichtes  
ist der Vertragsnehmer.  
Das Bundesministerium der Verteidigung, InSan I,  
übernimmt keine Gewähr  
insbesondere für die Richtigkeit, die Genauigkeit  
und Vollständigkeit der Angaben  
sowie die Beachtung privater Rechte Dritter.**

**Als Manuskript gedruckt**

### **Druck und Verbreitung**

**Streitkräfteamt / Abt III Fachinformationszentrum der Bundeswehr (FIZBw)**

**Im Auftrag des Bundesministers der Verteidigung**

**Friedrich-Ebert - Allee 34, 53113 Bonn**

**Fernruf : (0228) 947-(0)**

#### **Bestellung über Telefax :**

- DBP Telecom (0228) 947-1385**
- AllgFspWNBw 3430-1385**

**1995**

| REPORT DOCUMENTATION PAGE   |  |   | Form Approved OMB No. 0704-0188                |                                  |
|---|--|---|--|----------------------------------|
| Public reporting burden for this collection of information is estimated to average 1 hour per response, including the time for reviewing instructions, searching existing data sources, gathering and maintaining the data needed, and completing and reviewing the collection of information. Send comments regarding this burden estimate or any other aspect of this collection of information, including suggestions for reducing this burden to Washington Headquarters Services, Directorate for Information Operations and Reports, 1215 Jefferson Davis Highway, Suite 1204, Arlington, VA 22202-4302, and to the Office of Management and Budget, Paperwork Reduction Project (0704-0188), Washington, DC 20503. |  |   |  |                                  |
| 1. AGENCY USE ONLY (Leave blank)  |  | 2. REPORT DATE                          |  | 3. REPORT TYPE AND DATES COVERED |
|   |  | 1995                                    |  | Report                           |
| 4. TITLE AND SUBTITLE   |  |   | 5. FUNDING NUMBERS                             |                                  |
| <p>Erarbeitung von Belastungsprofilen der Wirelsaeule bei Hubschrauberpiloten aus biomechanischer, orthopaedischer, arbeitsmedizinischer, anthropometrischer und schwingungstechnischer Sicht</p> <p>(The Load on the Spinal Cord of Helicopter Pilots from Biomechanical, Orthopedic, Occupational, Anthropometric, and Vibrational Perspectives)</p>  |  |   |  |                                  |
| 6. AUTHOR(S)  |  |   |  |                                  |
| Gunter Schumpe, Joachim Klose, Gerhard Steffney   |  |   |  |                                  |
| 7. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES)  |  |   | 8. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER       |                                  |
| FIZBw   |  |   |  |                                  |
| 9. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES)   |  |   | 10. SPONSORING/MONITORING AGENCY REPORT NUMBER |                                  |
|   |  |   |  |                                  |
| 11. SUPPLEMENTARY NOTES   |  |   |  |                                  |
| Text in German, 77 pages.   |  |   |  |                                  |
| 12a. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT  |  |   | 12b. DISTRIBUTION CODE                         |                                  |
| Category A; Public Release  |  |   |  |                                  |
| ABSTRACT (Maximum 200 words)  |  |   |  |                                  |
| <p>The research results discussed in this report explain to what extent the design of helicopter seats affects helicopter pilots' spinal cord symptoms. Problems are traced to leaning forward with the upper body and contortions of the right shoulder in order to manipulate the control column (joystick). The problems are not related to seat design. Since handling the control column is an essential feature of piloting a helicopter, even an optimally designed seat won't eliminate the symptoms. The authors recommend simulator testing of the impact of decentrally vs. Centrally located steering columns and electronic steering as an alternative to mechanical steering.</p>                           |  |   |  |                                  |
| Machine assisted translation.   |  |   |  |                                  |
| 14. SUBJECT TERMS   |  |   | 15. NUMBER OF PAGES                            |                                  |
| UNIBW, Germany, Spinal cord, Helicopter pilot, Helicopter seat, Steering columns  |  |   |  |                                  |
|   |  |   | 16. PRICE CODE                                 |                                  |
|   |  |   |  |                                  |
| 17. SECURITY CLASSIFICATION OF REPORT   | 18. SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE | 19. SECURITY CLASSIFICATION OF ABSTRACT | 20. LIMITATION OF ABSTRACT                     |                                  |
| UNCLASSIFIED  | UNCLASSIFIED                             | UNCLASSIFIED                            | UL   |                                  |

# Berichts-/Erschließungsblatt

Dieses Berichts-/Erschließungsblatt wird unabhängig vom Geheimhaltungsgrad des Dokumentes immer als "offen" behandelt, deshalb sind keine ge-  
heimhaltungswürdigen Angaben zu übernehmen.

Bitte Ausfüllanweisung auf der Rückseite beachten.

Nur vom DOKFIZBw auszufüllen.

1 LfdNr

FW 0158

2 BerichtsNr des Herausgebers/Auftragnehmers (AN)  
(Vollständige Buchstaben-/Ziffernfolge)  
BMVg  
InSan I 0690-V-6393

3 BerichtsNr des Auftraggebers (AG)  
BMVg  
InSan I 0690-V-6393

10 DSt und StO (Dokument langfristig verfügbar, Ausleihe)

4 Titel/Untertitel (VS-eingestufteten Titel fignieren "....."; bei mehrbändigen Dokumenten BdNr und  
zutreffenden Einzelitel angeben)

Erarbeitung von Belastungsprofilen der Wirbelsäule bei  
Haubschrauberpiloten, aus biomechanischer, orthopädi-  
scher, arbeitsmedizinischer, anthropometrischer und schwin-  
gungstechnischer Sicht  
Zwischenbericht I,II,III und Abschlußbericht

11 Geheimhaltungsgrad

Offen VS-NID VS-Vertr. GEHEIM

12 Gesamtseiten-/blattzahl

13 Quellen

14 Tabellen

15 Statistiken

16 Techn. Zeichnungen

17 Abbildungen

18 Berichtsdatum

J J J J M M T T

19 Berichtsart (z.B. Zwischen-/Abschlußbericht, vgl. Feld 27)

20 Auftrags-/VertragsNr des AG  
(Vollständige Buchstaben-/Ziffernfolge)

21 Auftragserteilung/Vertragsabschluß

J J J J M M T T

22 Abschlußdatum/Vertragsende

J J J J M M T T

23 Projekt-/Programm-/Konzeptbezeichnung  
(z.B. ZTL 1979, FAG 1, MBB 1-85-1)

24 Studien-/Aufgabenkennziffer, DateiblattNr  
(SKZ., AKZ., DateiblattNr)

25 Aktenzeichen des AG/Herausgebers oder der fachlich  
zuständigen Stelle

26 Sperrvermerk

27 Zusätzliche Angaben/Hinweise

Kurztitel: (max. 30 Stellen)

Belastungsprofile-Wirbelsäule

4 a Ins Englische übersetzter Titel/Untertitel

The load of vertebral column of helicopter pilots under bio-  
mechanical, occupational, anthropometric health and vi-  
brational aspects

5 Autor(en) (Name, Vorname(n) oder Institution als körperschaftlicher Urheber)

Prof. Dr. Dr. Schumpe Günter  
Dr. Klose, Joachim  
Steffney Gerhard

6 Auftragnehmer (AN) (Institution(en), Abteilung, Ort/Sitz der beteiligten AN, SubAN, MitAN)

Orthopädische Univ.-Klinik / Biomechanik/Biophysik  
Sigmund-Freud-Str. 25  
53105 Bonn

7 Auftraggeber (AG) / Aufgabensteller (AST) / Fachlich zuständige Stelle

AG:  
BMVg InSan I 0690-V-6393

AST:  
BMVg InSan I 0690-V-6393

8 Kurzreferat (Inhaltsbeschreibung des Dokumentes)

Kurzfassung

Aus den Forschungsergebnissen beantworten sich die Fragen, inwieweit der Arbeitsplatz Hub-  
schrauber unter Einschuß der Sitzgestaltung die Symptomatik "flugabhängige Wirbelsäule-  
beschwerden" beeinflusst.

Die Rückenbeschwerden werden unabhängig von den verschiedenen Sitzgestaltungen der unter-  
schiedlichen Hubschraubertypen gleichermaßen angegeben. Weiterhin zeigt das Ergebnis unse-  
rer Untersuchungen und Vermessungen, daß die in allen Hubschraubertypen eingenommene  
Sitzhaltung durch eine Oberkörpervorlage und eine Schulter-Beckenveränderung (rechte  
Schultervorlage) gekennzeichnet ist.

Diese Verdrehung führt zu einer Lendenwirbelverdrehung, welche die LWS-Problematik be-  
schreibt. Gleichzeitig zeigen 30 vermessene Hubschrauberpiloten die beschriebene Schulter-  
Beckenrotation auch außerhalb des Arbeitsplatzes Hubschrauber auf normalen Sitzhockern.

Hieraus kann angenommen werden, daß diese Rotationsstellung Folge des Arbeitsplatzes Hub-  
schrauber ist, was die Beschwerdesymptomatik erklärt. Ein Zusammenhang zwischen LWS-  
Beschwerden und Hubschrauberarbeitsplatz wird durch die bisher notwendige Rotationsstellung  
des Oberkörpers zum zentralen Steuerknüppel hergestellt.

Auch durch eine optimale Stuhlgestaltung kann diese Rotationsstellung nicht behoben werden.  
Herzu müßte der Arbeitsplatz Hubschrauber durch eine Veränderung der Steuerknüppelführung  
und Sitzhaltung durch eine darauf angepaßte Stuhlgestaltung abgeändert werden.

Hierfür wären nach obigen Erläuterungen zusätzliche Studien am Simulator unter veränderten Ar-  
beitsplatzbedingungen notwendig. Wie verhält sich ein Pilot bei unterschiedlicher Streu-  
erknüppelstellung (zentral, dezentral). Wie verändert sich die Körperhaltung der Piloten bei leicht  
manipulierbaren, elektronische Steuerung gegenüber einer mechanischen Steuerung unter  
Flugbedingungen (Simulator). Aus derartigen Ultraschall-Messungen lassen sich Schulungs-  
programme quantifizieren und individuelle Fertigkeiten ablesen.

9 Schlagwörter (Schwerpunktartige Inhaltskennzeichnung mittels Fachbegriffen, maximal 10 Stellen)

Belastungsprofil, Hubschrauberpilot, Wirbelsäule, Wirbel-  
säulenbeschwerden, Wirbelsäulenvermessung, Ultraschall-  
topometrie, Arbeitsplatz, Hubschrauber

(Der umseitige Vordruck ist so konzipiert, daß er sowohl für VS-Dokumente, als auch für sämtliche Arten von Berichten aus Bw-Aufträgen/Verträgen benutzt werden kann. Es kann also durchaus vorkommen, daß für Felder keine Angaben vorhanden sind und diese somit frei bleiben.)

## **Ausfüllanweisung zum Berichts-/Erschließungsblatt**

### **FeldNr**

- 1 = LfdNr**  
Wird von DOKFIZBw ausgefüllt
- 2 = BerichtsNr des Herausgebers/Auftragnehmers (AN)**  
Vom Herausgeber oder Auftragnehmer (AN) dem von ihm erstellten Bericht zugeteilte(n) Identifikationskennzeichen, unter Voransetzen des Akronyms bzw. der Kurzbezeichnung des Herausgebers/Auftragnehmers (AN).
- 3 = BerichtsNr des Auftraggebers (AG)**  
Vom Auftraggeber (AG) dem Bericht zugeteilte(n) Identifikationskennzeichen, unter Voransetzen des Akronyms bzw. Kurzbezeichnung des AG (z.B. BMVg FBWT-10-92)
- 4 = Titel/Untertitel**  
Originalsachtitel des Dokumentes/Berichtes und ggf. der zugehörige Untertitel. Bei mehrbändigen Berichten ist die Bandzählung des betreffenden Berichtes sowie ggf. der zugehörige Einzeltitel anzugeben; (vgl. auch Feld 27)  
**Kurztitel:** Es ist nur der Kurztitel des Vorhabens mit maximal 30 Stellen einzutragen.
- 4 a = Ins Englische übersetzter Titel/Untertitel**  
Der deutschsprachige Originalsachtitel des Dokumentes/Berichtes und ggf. der Untertitel sind ins Englische zu übersetzen, wenn möglich, vom Autor!
- 5 = Autor(en)**  
Der/Die Name(n) des/der Verfasser(s) bzw. Bearbeiter(s) des Dokumentes/Berichtes in der Reihenfolge: Name, Vorname(n). Ist oder soll kein persönlicher Verfasser/Bearbeiter genannt (werden), so ist der Name der Institution einzutragen, die der körperschaftliche Urheber ist.
- 6 = Auftragnehmer (AN)**  
Offizielle Benennung der Institution(en), ggf. mit Angabe der Abteilung, die als Auftragnehmer bzw. als Sub- oder Mitauftragnehmer an der Erstellung des Berichtes beteiligt waren, in der Reihenfolge: Benennung, Ort/Sitz, Landangabe.
- 7 = Auftraggeber (AG) / Aufgabensteller (AST) / Fachlich zuständige Stelle**  
Die Benennungen der vertragschließenden, d.h., der auftragerteilenden und aufgabenstellenden bzw. fachlich zuständigen Referate des BMVg oder BWB und sonstiger Ämter der Bw, sind einzutragen.
- 8 = Kurzreferat**  
Das Kurzreferat ist eine Form der Inhaltsbeschreibung und soll die wesentlichen Sachverhalte und/oder Ergebnisse des Dokumentes so darstellen, daß der Leser objektiv in die Lage versetzt wird zu entscheiden, ob das Dokument für seine Zwecke relevant ist.
- 9 = Schlagwörter**  
Schlagwörter sind eine andere Form der Inhaltsbeschreibung. Sie sollen in prägnanter Weise in Form von Wörtern und/oder Wortzusammensetzungen schwerpunktartig den Inhalt des Dokumentes kennzeichnen. Anzugeben sind ein bis zehn Schlagwörter.
- 10 = Dienststelle (DSt) und Standort (StO) (Dokument langfristig verfügbar, Ausleihe)**  
Trifft nur zu für Dokumente mit Geheimhaltungsgrad VS-VERTRAULICH oder GEHEIM (vgl. BMVg, FÜ S 14 – Az 52-60-60 vom 01.07.1986). Es ist die Dienststelle der Bw, möglichst mit Abt/UA und TgbNr, anzugeben, bei der das Dokument langfristig zur Ausleihe verfügbar ist. Der StO erhält von DOKFIZBw eine Mitteilung über die vergebene DOKFIZBw-lfd-Nr und später auch nach o.a. Erlaß die Anträge auf Lieferung des betreffenden Dokumentes zugesandt.
- 11 = Geheimhaltungsgrad**  
Geheimhaltungsgrad des Dokumentes ist entsprechend anzukreuzen.
- 12 = Gesamtselten-/blattzahl**  
Hier ist die Gesamtzahl der Seiten anzugeben – Bei VS die Blattzahl.
- 13–17 = Quellen, Tabellen, Statistiken, Techn. Zeichnungen, Abbildungen**  
Es ist jeweils die Anzahl der in dem Dokument aufgeführten/enhaltenen Angaben/Beigaben einzutragen.
- 18 = Berichtsdatum**  
Das Datum des Dokumentes/Berichtes (ersichtlich aus Deck-/Vorblatt oder Titelei). Fehlende Angaben zu Monat oder Tag sind mit Nullen aufzufüllen.
- 19 = Berichtsart**  
Z.B.: Zwischenbericht (1–n), Abschlußbericht, Konferenzbericht.
- 20 = Auftrags-/VertragsNr des AG**  
Vom AG dem Auftrag zugeteilte(n) Identifikationskennzeichen. Es sind alle Auftrags-/VertragsNr der Aufträge/Verträge anzugeben, aufgrund deren der Bericht erstellt wurde.
- 21 = Auftragserteilung/Vertragsabschluß**  
Datum der Auftragserteilung bzw. des Vertragsabschlusses.
- 22 = Abschlußdatum/Vertragsende**  
Datum an dem der Auftrag/Vertrag beendet/abgelaufen ist.
- 23 = Projekt-/Programm-/Konzeptbezeichnung**  
Offizielle Bezeichnung des Projektes bzw. Name des Programms.
- 24 = Studien-/Aufgabenkennziffer, DateiblattNr**  
Die für den Bericht zutreffende, von AG oder AST vergebene Studien-/Aufgabenkennziffer und/oder DateiblattNr.
- 25 = Aktenzeichen des AG/Herausgebers oder der fachlich zuständigen Stelle**  
Eintrag unter Voransetzung des Akronyms bzw. Kurzbezeichnung.
- 26 = Sperrvermerk**  
Nur der vom AG/AST bzw. der fachlich zuständigen Stelle im BMVg, BWB oder anderen Ämtern der Bw dem Dokument zugeteilte Sperrvermerk. (Andere Sperrvermerke werden vom DOKFIZBw in solche der Bw umgesetzt.)
- 27 = Zusätzliche Angaben/Hinweise**  
Angaben zu Konferenzbericht (Veranstalter, Titel, Ort, Datum), sowie Umfang und Art von Anlagen und Hinweise auf andere Dokumente/Berichte die mit dem Dokument/Bericht in sachlichem Zusammenhang stehen.

# Forschungsbericht aus der Wehrmedizin

**Erarbeitung von Belastungsprofilen der Wirbelsäule  
bei Hubschrauberpiloten aus biomechanischer,  
orthopädischer, arbeitsmedizinischer,  
anthropometrischer und schwingungstechnischer Sicht**

## **Auftraggeber:**

Bundesminister der Verteidigung - InSan I

## **Vertragnehmer:**

Prof. Dr. Dr. G. Schumpe  
Orthopädische Universitätsklinik Bonn  
Abt. Biomechanik/Biophysik

## **Bearbeiter:**

G. Schumpe, T. Hallbauer  
Mitarbeit: J. Klose, G. Steffny, H. Gäbel

Manuskript: 1994

## **Titel englisch:**

The load of vertebral column of helicopter pilots under  
biomechanical/orthopaedic, occupational, anthropometric health and vibrational aspects

AQ F05-01-0117

## Inhaltsverzeichnis

|  | Seite  |
|--|--------|
| 1. Zielsetzung   | 2      |
| 1.1 Problemstellung  | 2      |
| 1.2 Aufgabe  | 3      |
| 1.3 Methodik   | 5      |
| 2. Arbeitsprogramm   | 6      |
| 3. Durchgeführte Arbeiten  | 9      |
| 3.1 Orthopädisch/biomechanischer Untersuchungsgang                       | 10     |
| 3.2 Fragebogenaktion zur Erfassung repräsentativer Untersuchungsgruppen  | 13     |
| 3.2.1 Ergebnisse   | 13     |
| 3.3 Vermessung des von Prof. Dr. Dupuis entwickelten neuen Pilotensitzes | 20     |
| 3.4 Simulatormessungen   | 21     |
| 3.5 Ausblick   | 24     |
| 3.6 Tabellen und Grafiken  | 26- 77 |

## 1. Zielsetzung

### 1.1 Problemstellung

Das Problem von Wirbelsäulenbeschwerden ist bei Hubschrauberpiloten evident. Wie aus der Orthopädie/Biomechanik bekannt ist, sind es viele, z.T. sehr unterschiedliche Faktoren, die Beschwerden der Wirbelsäule hervorrufen können. Hierzu gehören vor allem die **Sitzhaltung**, die **Sitzgestaltung**, die **Arbeitsplatzergonomie** sowie **Außeneinflüsse**.

Die individuelle, freie Sitzhaltung ist abhängig vom muskulären, **aktiven** Status und von den knöchernen vorgegebenen, anatomischen Strukturen. Der muskuläre Status ist primär durch die Muskelkraft und die muskuläre Koordination bestimmt. Dysbalancen im muskulären System wirken auf das knöcherne Skelett ein, mit der Folge einer Fehllhaltung, die über körpereigene Nocizeptoren Schmerzen auslösen können.

Die Sitzgestaltung kann **passiven** Einfluß auf die Sitzhaltung ausüben, indem sie die Haltefunktion der Muskulatur unterstützt oder ihr entgegenwirkt.

Die Arbeitsplatzgestaltung bestimmt die verschiedenen, einzunehmenden **aktiven** Sitzhaltungen durch die Positionierung der Bedienungselemente.

Die Analyse verschiedener **dynamischer Sitzhaltungsveränderungen** steht im Mittelpunkt dieser orthopädisch/biomechanischen Forschungsarbeit. Sie liefert, unter Berücksichtigung der **Außeneinflüsse**, die Grundlage für die Konzeption der durchzuführenden Maßnahmen. Dies betrifft gleichermaßen die Sitz- und Arbeitsplatzgestaltung sowie die möglichen präventiven/therapeutischen Behandlungskonzepte.

Abzuschätzen sind **Außeneinflüsse** auf die Sitzhaltung, **externe Kräfte** (z.B. flugabhängige Beschleunigung), **Vibrationen** und **individuelle Streßfaktoren**. Während externe Kräfte und Vibrationen physikalische Meßgrößen sind, müssen individuelle



Streßfaktoren durch Fragebogenerhebungen und Tests ermittelt werden.

Den Erfahrungen von Fliegerärzten und Orthopäden der Bundeswehr stehen die experimentellen, rein schwingungstechnischen Untersuchungen entgegen. Es werden häufig erhebliche Beschwerden im Bereich der Wirbelsäule (LWS, HWS) von den Piloten angegeben. Schwingungsuntersuchungen am Hubschraubersitz ergaben allerdings nur bewertete Schwingungsstärken von  $K_{eq}$  5 bis 23, die nach heutiger Ansicht von Fachleuten ohne Relevanz sind. Eine patientenbezogenen Datenerhebung, welche die oben genannten Faktoren berücksichtigen, fand bis heute jedoch nicht statt.

Die Frage der schwingungsbedingten Haltungsveränderung, insbesondere auf segmentaler Ebene, wurde bisher nicht untersucht. Ebenso wurde der Einfluß der Anordnung der Bedienungselemente auf die Haltung nicht berücksichtigt.

Die Beurteilung der dreidimensionale Stellungenänderung der Wirbelsäule ist von entscheidender Bedeutung, da nur so Aussagen zur Belastung der Wirbelgelenke, bzw. der Bandscheiben möglich sind. Ebenso können Rotationsfehlhaltungen der Wirbelkörper gegeneinander festgestellt werden und in eine ergonomische Sitz- und Arbeitsplatzgestaltung miteinfließen.

Derartige Mehrbelastungen der Bandscheiben und kleinen Wirbelgelenke, sowie ungünstige Körperhaltungen können zu den beschriebenen Beschwerden der Piloten führen.

## 1.2 Aufgabe

Ziel dieses Vertragsforschungsvorhabens ist eine exakte, dreidimensionale Erfassung der Körperhaltung und der Wirbelsäulenstellung von Piloten unter statischen und kinematischen Aspekten durch die Topometrie. Hierbei wird auch die Sitzgestaltung und der Arbeitsplatz gleichzeitig mitvermessen.

Die Datenanalyse und die daraus ableitbaren Befunde sollen zu einem Anforderungskatalog führen, der die Grundlagen für die Gestaltung eines Hubschraubersitzes und des Arbeitsplatzes liefert bzw. die kausalen Ursachen für Rückenprobleme benennt.

Im Anschluß an die Untersuchung, Datenerfassung und Analyse soll eine mögliche Verbesserung der Sitzproblematik ,bei **vorgegebenen Arbeitsplatzbedingungen**, erörtert werden, die ergonomisch vertretbar sind (Arbeitsbesprechung der Forschungsnehmer In San I am 10.2.92).

Dabei werden die Ergebnisse wiederum mit der nachfolgend dargestellten **TOPOMETRIE** direkt überprüft.

Welche exakten statischen und dynamischen räumlichen Bewegungen erfährt die Wirbelsäule in ihren verschiedenen Abschnitten während des Fliegens, ändert sich dieses Verhalten unter längerer Belastung ? Sind es überhaupt die Schwingungsbelastungen, die zu den geklagten Beschwerden führen oder ist es die ungünstige Körperhaltung beim Sitzen ?

Korrelieren Abschnitte mit starker Schwingungsbelastung mit den angegebenen Schmerzbereichen der Wirbelsäule ?

Kommt es durch das Fliegen zu einer funktionellen Bewegungsstörung einzelner Wirbelsäulenabschnitte, wenn ja, von welchen Faktoren ist sie abhängig (Expositionsdauer, Haltung, Maxima) ?

Gibt es irreversible Funktionsstörungen, die durch das Fliegen bedingt sind und sich einer röntgenologischen Nachprüfung entziehen ?

Unser Ziel ist es, funktionelle Störungen meßtechnisch zu erfassen und diese Messungen mit herkömmlichen, orthopädischen Untersuchungen und arbeitsmedizinischen Beurteilungskriterien zu vergleichen.

### 1.3 Methodik

Die Durchführung des Forschungsvorhabens beruht auf drei grundlegenden Säulen:

- 1) der dreidimensionalen Vermessung der Wirbelsäule beim Sitzen in verschiedenen Situationen mittels der Ultraschalltopometrie,
- 2) der orthopädischen Untersuchung und Beurteilung der exponierten Personen unter den Kriterien der funktionellen Bewegungsanalyse,
- 3) und der umfangreichen Befragung durch einen Erhebungsbogen, der Auskunft über die Schmerzproblematik in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern liefert.

zu 1) Mittels Laufzeitmessungen von Ultraschallimpulsen ist es möglich, beliebige Körperpunkte in ihrer dreidimensionalen - zeitlichen Bewegung (statisch und kinematisch) zu verfolgen. An den zu vermessenden Körperpunkten werden Ultraschall-sender angebracht, die mit einer Meßfrequenz von ca. 20 -30 Hz Ultraschallimpulse aussenden. Es können bis zu 10 Körperpunkte mit einer Genauigkeit von besser als 1 mm verfolgt werden. Aus den Daten kann neben der Körperhaltung auch die Bewegungsfrequenz der einzelnen Meßpunkte, die Richtung (auch die Rotation) und das Amplitudenverhalten über den gesamten Zeitraum ermittelt werden.

Wir beabsichtigen, die Körperpunkte, welche die Wirbelsäulenhaltung beschreiben, in zeitlich gestaffelten Serienmessungen zu erfassen und diese Messungen aufzuzeichnen.

Zusätzlich lassen sich mit der Topometrie auch Arbeitswege von Hand und Arm erfassen und in einen Bezug zur Körperhaltung setzen.

Eine Beschreibung der Arbeitsplatzergonomie ist somit für die Arbeitsabläufe möglich, ein Faktor, der über die Frage der Sitzgestaltung hinaus wesentlich ist.

Neben der reinen Haltungsphysiologie ist auch die Frage der Schwingungsauswirkung zu klären, im Sinne einer additiven Komponente, mit Auswirkungen auf die Wirbelsäule.

zu 2)

Zur orthopädischen Beurteilung wird ein Erhebungsbogen erstellt, der sowohl die klinischen und die biomechanischen Untersuchungsbefunde unter Einschluß der Röntgenbefunde erfaßt.

zu 3) Die Befragung der Hubschrauberpiloten soll die Häufigkeitsverteilung der Beschwerdesymptomatik in Abhängigkeit zur Körperregion, zum Körpergewicht, zur Körpergröße, zum Hubschraubertyp u.a. erfassen.

## 2. Arbeitsprogramm

Es ist notwendig, daß vorgesehene patientenorientierte Messungen an geschulten Piloten vorgenommen werden, da sich diese in der Laboruntersuchung und unter Schwingungssimulation situationsgerecht verhalten. Andere Testpersonen sind nicht geeignet.

Der Arbeitsablauf ist in die folgenden Arbeitspakete gegliedert:

**P1:** Erfassung und Sammlung der für das Forschungsvorhaben relevanten Gegebenheiten. Hierzu gehört die Erfassung des patientenbezogenen Beschwerdebildes, die qualitative Beschreibung der Arbeitsplatzgestaltung (Sitz, Lage der Bedienungselemente), um dies in den nachfolgenden Konzepten der Vermessung zu berücksichtigen. Vergleich dieses IST-Zustandes mit den orthopädischen Aussagen zur Wirbelsäulenhaltung beim Sitzen.

**P2:** Bau eines transportablen Ultraschalltopometers nach der Konzeption des bereits existierenden stationären Topometers. Anpassung bzw. Erweiterung der vorhandenen Software an das transportable Computersystem und an spezielle Fragen des Projektes (z.B. Arbeitsplatzgeometrie).

**P3:** Erarbeitung eines orthopädisch - biomechanischen Untersuchungsganges mit dem Ziel einer

- 1) exakten, standardisierten Untersuchung,
- 2) topometrischen Vermessung und
- 3) Beurteilung der Probanden.

Dies ist notwendig, um eindeutige, biomechanische Kriterien für die geplante gemeinsame Sitzentwicklung zu erarbeiten. Zur Durchführung der Untersuchungen müssen die Randbedingungen, denen die Probanden unterworfen sind, festgelegt werden, damit vergleichbare Versuchsbedingungen herrschen.

Darüberhinaus müssen vergleichbare Markierungen am Körper des Probanden festgelegt werden, die eine relative Aussage zur dreidimensionalen Wirbelsäulenhaltung erlauben. In Abstimmung dazu muß ein orthopädischer Untersuchungsbogen erarbeitet werden, der

1. die klinischen Bezüge und
2. die topometrischen Befunde berücksichtigt.

**P4:** Messung des IST-Zustandes. Hierzu werden in der Vorphase an einem ausgebauten Pilotensitz im Forschungslabor die statische Sitzhaltung und ihre Variationsmöglichkeiten vermessen und die unter **P3** erarbeiteten biomechanischen Untersuchungsparameter überprüft.

Im Anschluß daran erfolgt mit dem transportablen Topometer die Messung im Flugsimulator und im stehenden Hubschrauber zur exakten Dokumentation der biomechanischen Arbeitsabläufe unter Simulationsbedingungen ohne Schwingungsexposition. Begleitet wird diese Phase durch orthopädische Untersuchungen nach den unter **P3** erarbeiteten Kriterien. Nur anhand so gewonnener Daten lassen sich die Faktoren Sitzhaltung, Sitzgestaltung, Arbeitsplatzergonomie sowie Außeneinflüsse differenzieren.

**P5:** Messungen dreidimensionaler Kinematik der Wirbelsäule im Simulator mittels des transportablen Topometers. Begleitend erfolgen orthopädische Untersuchungen über die Auswirkungen der Kombination von Körperhaltung und Schwingung auf die Wirbelsäule. Ziel dieser Untersuchungsphase ist es festzustellen, ob sich die räumliche Wirbelsäulenhaltung unter Schwingungsexposition im Vergleich zu der statischen Haltung in Abhängigkeit von der Zeit verändert.

Hierbei denken wir weniger an die osteomorphologischen Auswirkungen der Schwingungsstärke (K-Werte) auf die Wirbelsäule, als vielmehr auf einen möglichen schwingungsbedingten Ermüdungseffekt (Lockerung - Verspannung einzelner Muskelgruppen) mit seinen Auswirkungen auf die WS-Haltung.

Die funktionelle, segmentale orthopädische/biomechanische Untersuchung ermöglicht erst die Beurteilung klinisch relevanter Beschwerden.

**Formulierung** der orthopädisch/biomechanischen Anforderungskriterien an einen Hubschraubersitz.

**P6:** Entwicklung eines Hubschrauberführersitzes nach Abschluß der Datenerfassung. Ab diesem Zeitpunkt ist eine Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Dupuis verabredet (Abänderung durch die Arbeitssitzung In San I am 10.2.92). Während dieser Phase müssen weitere topometrische Messungen und orthopädische Untersuchungen durchgeführt werden, die den Erfolg dieser Entwicklung dokumentieren.

Der biomechanische/orthopädische Untersuchungsgang bzgl. dieser Sitzentwicklung entspricht den Arbeitspaketen **P4 und P5**.

Da die Sitzgestaltung nur ein Aspekt der Wirbelsäulenhaltung/Belastung ist, müssen auch Anforderungen für die Arbeitsplatzgestaltung bzw. Außeneinflüsse definiert und gegebenenfalls umgesetzt werden.

### 3. Durchgeführte Arbeiten

#### Kurzfassung:

Die Aufgabe des Forschungsvorhabens war es, die unterschiedlichen Einflüsse der Körperhaltung bezüglich der Wirbelsäulengeometrie bei Hubschrauberpiloten unter den speziellen Arbeitsplatzbedingungen zu erfassen.

Hierzu wurde ein neues transportables Meßverfahren entwickelt, das den speziellen Arbeitsplatzbedingungen Rechnung trägt.

Das Meßprinzip beruht auf der räumlichen Erfassung von kleinen Ultraschallsendern, die am Probanden befestigt sind. Diese Sender geben Ultraschallimpulse, die von 4 Empfängern registriert werden. Aus den Laufzeiten der Sendeimpulse zu dem Empfängern werden die geometrischen Orte der Sender und ihre räumliche Verschiebung über digitale Laufzeitmessungen berechnet.

Die Steuerung der Meßwerterfassung erfolgt durch von einem für das Forschungsvorhaben angeschafften transportablen PC im on-line Betrieb. Die vorhandene Software zur Berechnung der Analyseprogramme für Haltungsveränderungen wurde für einen PC umgeschrieben.

Neben der Erprobung der Meßanlage wurden Rückenflächen im freien Stand und im freien Sitz von 30 Piloten vor Ort topometrisch und - im Rahmen einer Dissertation - photogrammetrisch vermessen.

Das standardisierte biomechanisch/orthopädische Untersuchungskonzept wurde auf diese 30 Hubschrauberpiloten angewendet und mit den Messungen verglichen.

Zusätzlich wurden Arbeitsplatzvermessungen in 3 Hubschraubertypen (Bell UH1D, CH 53, BO 105) durchgeführt.

Darüberhinaus wurden Hilfsmittel (kleine Polsterunterlagen am Arm) und veränderte Sitz- und Seitenkissen zur Verbesserung der Sitzhaltung getestet und diese Haltungen am Probanden vermessen.

Im Flugsimulator konnten wichtige Arbeitsplatzhaltungen an Piloten meßtechnisch unter Arbeitsbedingungen erfaßt werden.

### 3.1 Orthopädisch/biomechanischen Untersuchungsgang

Die orthopädisch/biomechanischen Haltungsanalyse sind in der Balkengrafik Abb.1 wiedergegeben. Es handelt sich hier um 30 Piloten, die sich freiwillig zur Verfügung gestellt haben. Die Auslese war zufällig und wurde nicht nach Angaben über Rücken- oder andere Körperbeschwerden sortiert.

Während der meßtechnischen Untersuchungen (Tab.1) wurden in Faßberg alle 30 Piloten eingehend orthopädisch untersucht.



## TOPOMETRISCHER MESSABLAUF

- I. Ganzkörpervermessung mit 2 x 8 Fixsendern  
 Meßprogramm m8a  
 Sender/Meßpkt.: I/2 II/3, III/4, IV/5, V/6, VI/7, VII/8, VIII/9  
 Meßprogramm m8b  
 Sender/Meßpkt.: I/11, II/12, III/13, IV/10, V/14, VI/15, VII/8, VII/9  
 Dauer der Messung: 3 sec, Frequenz 10 Hz, Zoom: x,y,z 9/9
  
- II. Abfahren der Wirbelsäule für Längenmessung  
 Meßprogramm m2a  
 nach Schober und Ott; 3 Sender am Stift; stehend  
 Dauer der Messung: 10 sec, Frequenz 25 Hz  
 Zoom: x 10/10, y 10/80, z 10/100; stehend  
 Zoom: x 30/30, y 10/80, z 40/40; vorgebeugt  
 WS-abfahren, sitzend mit Stift  
 Dauer der Messung: 10 sec, Frequenz 25 Hz  
 Zoom: x 10/10, y 15/15, z 10/100
  
- III. Beinentalung li/re mit 4 Sendern  
 Nr. I/2, II/5, II/8, IV/9 Frequenz 25 Hz  
 Dauer: 10sec, stehend, UMSTECKEN!  
 Zoom: x,y,z 9/9 Meßprogramm m3a
  
- IV. HWS-/Kopfbewegung mit 4 Sendern  
 Nr. I/0/2/5, Frequenz 25 Hz, Meßprogramm m4a  
 Dauer der Messung: 10 sec; sitzend  
 Zoom: x 20/15, y 5/5, z 5/5
  
- V. Rückenfläche abfahren mit Fixsendern  
 Nr. 2/5/8/9 und Stift  
 Dauer der Einzelmessung: 10 sec; Frequenz 20 Hz  
 Zoom: x 10/30, y 9/9, z 9/9
  
- VI. Rückenfläche Abfahren mit Fixsendern Nr. 2/5/8/9  
 und Stift sitzend, in 7 Bahnen, Meßprogramm : m5a  
 Dauer der Einzelmessung: 10 sec; Frequenz 20 Hz  
 Zoom: x 10/30, y 9/9, z 9/9

Die Untersuchung wurde anhand speziell dafür erstellter Untersuchungsbögen durchgeführt (Untersuchungsbefund, Zwischenbericht I, Seite 38). Die Säulengrafik der orthopädischen Untersuchung zeigt folgende Sachverhalte Abb.1:

Von 30 Piloten zeigten

- 1) 6 Personen eine Beinlängendifferenz über 6 mm
- 2) 10 Personen eine Armlängendifferenz über 8 mm
- 3) 16 Personen einen Schultergeradstand (Toleranz 3 Grad)
- 4) 23 Personen eine Beckengeradstand (Toleranz 3 Grad)
- 5) nur 14 Personen ein Becken- und Schultergeradstand (Toleranz 3 Grad)
- 6) 10 Personen eine skoliotische Fehlhaltung
- 7) 8 Personen einen Wirbelsäulenüberhang nach rechts bzw. links über 1 cm.
- 8) nur 10 Personen eine gerade Wirbelsäulenhaltung mit gerader Becken- und Schulterstellung (Toleranz 3 Grad, Überhang kleiner als 1 cm).
- 9) 7 Personen eine funktionelle Kyphose
- 10) 7 Personen eine asymmetrische, seitliche Bewegungseinschränkung (re/li)
- 11) 5 Personen eine asymmetrische Rotationseinschränkung (re/li - vor/zurück)
- 12) 2 Personen muskuläre Verhärtungen im LWS-Bereich
- 13) 5 Personen gaben Kniebeschwerden an
- 14) 1 Person gab Hüftprobleme an und
- 15) 1 Person sprach von Sprunggelenkbeschwerden.

Das Merkmal 8) zeigt, dass 60 Prozent der Piloten Fehlhaltungen im Wirbelsäulenbereich aufwiesen. Aus den topometrisch vermessenen Rückenbildern (Abb.:2.1 ... 2.12 stehend, Abb.: 3.1 ... 3.12 sitzend) ersehen wir nur ca. 1 - 2 Piloten mit symmetrischer Rückenfläche bei gerader Becken- und Schulterstellung. Dies steht in qualitativ guter Übereinstimmung mit dem orthopädischen Befund.

Aus diesen Ergebnissen kann man aber auch im Detail die Unterschiede zu den Untersuchungsbildern der Rückenhaltung im Sitzen und Stehen bei 24 Piloten erkennen.

### 3.2 Fragebogenaktion zur Erfassung repräsentativer Untersuchungsgruppen

Der Fragebogen ist soweit ausgewertet, daß eine vollständige graphische Darstellung der Ergebnisse vorliegt

Von den an die Hubschrauberpiloten versandten Fragebogen gab es ca. 300 auswertbare Rückmeldungen.

#### Ergebnisse:

##### 1) Flugabhängige Rückenbeschwerden

Von 300 Piloten gaben 200 Piloten flugabhängige Rückenbeschwerden an (Abb.4, 5.1, 5.2). Die Altersverteilung zwischen 23- und 57 jährigen Piloten schwankt stark. Es ist aber deutlich sichtbar, daß die angegebenen, flugabhängigen Beschwerden ab dem 40. Lebensjahr zunehmen.

Versucht man die Einzelwerte (Abb.4) durch eine Mittelwertkurve zu ersetzen, so ergibt sich bei der Gesamtzahl von Piloten, eine Zunahme der Piloten zwischen 22 und 27 Jahren und eine Abnahme ab dem 50. Lebensjahr. Hierbei nimmt die Zahl der Piloten mit Beschwerden in der Tendenz zu (Abb.5.2); im Alter von 28 und 46 Jahren ergeben sich flache, nicht signifikante Maximalwerte. In analoger Weise nimmt die Zahl der Piloten ohne Beschwerden in der Tendenz eindeutig ab. Ein absoluter Zahlenvergleich bestätigt diese Ergebnisse.

Ein prozentualer Vergleich (Abb.4) zeigt, daß mit Aufnahme der Pilotentätigkeit mit 23/24 Jahren etwa 50 Prozent der Piloten von flugabhängigen Beschwerden sprechen. Am Ende Ihres Berufsweges mit 54/55 Jahren geben ca. 90 Prozent flugabhängige Rückenbeschwerden an.

Dieser Anstieg der Rückenbeschwerden kann nicht als altersbedingte Zunahme von Rückenbeschwerden abgetan werden und muß in dem Zusammenhang mit den anderen Ergebnissen gesehen werden.

Hier muß man an die durch den Arbeitsplatz bedingte Sitzhaltung denken. Desweiteren sind die Körperbewegungsausmaße bei der Handhabung der Bedienungselemente zu berücksichtigen. Eine durch Messungen verifizierte Einwirkung haben individuelle Körperhaltungen und Kompensationsmechanismen beim Flug, wie Analysen im Flugsimulator zeigen (s.u.).

## 2) Flugabhängige Rückenbeschwerden in Abhängigkeit vom Körpergewicht

Die Frage nach der Abhängigkeit von Rückenbeschwerden in Bezug auf das Körpergewicht wird in den Abbildungen 6.1, 6.2, 6.3 dargestellt.

Die Körpergewichtsverteilung (Abb. 6.2) zeigt ein breites Maximum zwischen 68 und 86 Kg über die Gesamtverteilung von 60 bis 104 kg. Das scheinbare Maximum um 74 kg Körpergewicht ist zufällig und entspricht nicht der gegebenen Auswahlverteilung.

Wie die Abb. 6.3 zeigt, ergibt sich diese Abhängigkeit nicht, wenn man die prozentuale Beschwerdesymptomatik in Abhängigkeit vom Körpergewicht darstellt. Es läßt sich nur eine leichte Schwankung der Beschwerden zwischen 60 und 75 % als Funktion des Körpergewichtes darstellen, die in der Tendenz ab 90 kg leicht ansteigt (nicht signifikant!).

Dies bedeutet, daß das Körpergewicht der Piloten bei der vorgegebenen Verteilung die flugabhängigen Beschwerden nicht maßgebend erhöht.

### 3. Flugabhängige Rückenbeschwerden in Abhängigkeit von der Körpergröße

Die Beschwerdesymptomatik der Piloten in Abhängigkeit von der Körpergröße wird in den Abbildungen 7.1, 7.2, 7.3 dargestellt.

Die Zufallsverteilung zeigt ein Maximum bei den Körpergrößen 179 bis 181 cm. Auch hier zeigt die prozentuale Verteilung der Piloten mit und ohne flugabhängige Schmerzen als Funktion der Körpergröße keine signifikante Veränderung in Bezug auf die Varianz der Körpergröße zwischen 165 cm und 195 cm. Die kleinen Schwankungen liegen innerhalb der Fehlergrößen und sind nicht signifikant.

D.h., daß sowohl die Körpergröße (Punkt 3), als auch das Körpergewicht (Punkt 2) der Piloten keinen signifikanten Einfluß auf die Beschwerdesymptomatik ausübt.

Als Begründung ergibt sich, daß die Piloten in ihrem jeweiligem Gewicht nicht sehr stark von der zugeordneten Normgröße abweichen. Daraus folgt, daß große Piloten nicht mehr Rückenbeschwerden bekommen als alle übrigen.

In den Abbildungen 8.1, 8.2, 8.3, 8.4 werden die Größe-Gewichtsverteilungen des Pilotenkollektivs in einer Balkengrafik (Einzelverteilung 8.1, Mittelwertverteilung 8.2) und in einer Liniengrafik ( Einzelverteilung 8.3, Mittelwertverteilung 8.3) dargestellt.

Es zeigt sich, daß die meisten Piloten dem Gewicht zwischen 72 und 78 Kg zuzuordnen sind, wobei die Größe im Mittel bei 177 cm liegt und nach kleineren bzw. größeren Werten glockenförmig abnimmt.

#### 4. Flugabhängige Beschwerden in Bezug zur Körperregion.

Aus der Befragung ergibt sich deutlich, daß mindestens 50 Prozent aller Piloten (n=300) Beschwerden im LWS-Bereich der Wirbelsäule angeben (Abb.9.1 u. 9.2).

Dem zugeordnet sind ca. 25 % HWS-Beschwerden, 20% Beinbeschwerden, 12.5 % Kombinationsbeschwerden (LWS-Bein) und 10% Armbeschwerden.

BWS-Beschwerden werden vernachlässigbar gering beschrieben.

Diese Beschwerdesymptomatik entspricht der Sitzhaltung der Piloten im Hubschraubersitz unter Arbeitsbedingungen wie sie im Zwischenbericht II (Seite 16 - 23) dargestellt wurde.

Aufgrund der Schulter-Beckenrotation wird die Wirbelsäule vor allem im LWS-Bereich verdreht, was im Halsbereich ausgeglichen werden muß, damit der Pilot gerade nach vorne sehen kann. Eine derartig ungünstige Arbeitshaltung könnte sich in Laufe der Berufsjahre bei entsprechender Flugstundenzeit ungünstig auswirken. Diese Arbeitshaltung könnte die hohen, flugabhängigen Beschwerdeangaben erklären.

#### 5. Flugabhängige Beschwerden in Abhängigkeit vom Hubschraubertyp

Die Beschwerdesymptomatik den Hubschraubertypen zuzuordnen ist nach den Befragungen nur sehr schwer möglich. Die Abb.10 spiegelt die angegebenen Rückenbeschwerden der Piloten bezüglich der geflogenen Hubschraubertypen wieder.

Da die Piloten während ihrer Einsätze nicht konstant einen Typen flogen, ist es nicht möglich, eine typenbezogene Problemstellung zu erarbeiten. Die Fehlerquote ist zu hoch, um typspezifische, signifikante Aussagen erwarten zu können. Z.B.ergibt sich für die Allouette bei 25 Piloten eine Beschwerderate von 72%, bei der Bell (13 Piloten) eine Beschwerderate von 69.2%, bei der Ch53 (2 Piloten) eine Beschwerderate von 100%. Kleine Veränderungen (Fehlerquote) verändern diese Beschwerderate erheblich.

Trotz unterschiedlicher Sitzkonstruktionen können lt. Befragung keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Rückenbeschwerden herausgearbeitet werden.

#### 6. Gewichtseinschätzung - Rückenbeschwerden

Von 260 Piloten schätzen sich 240 (92%) Piloten als normalgewichtig ein. Von diesen 240 Piloten haben 159 ( 66%) flugabhängige Beschwerden.

Als übergewichtig (15 Piloten) geben 11 Piloten (73%) Beschwerden an.

Als untergewichtig (5 Piloten) geben 4 (80%) Beschwerden an (Abb.11). Diese Zusammenhänge wurden bereits im Zwischenbericht III mit weiteren Graphiken belegt Seite (33-35).

Es ergibt sich aufgrund der Fehlerschwankung kein signifikanter Unterschied.

## 7. Fitnessseinschätzung - Rückenbeschwerden

Von 289 Piloten schätzen sich 154 Piloten (53%) als mäßig fit ein; davon geben 103 Piloten (66%) Rückenbeschwerden an.

Als nicht fit bezeichnen sich 37 Personen (12%), wobei 28 Piloten ((75%) Beschwerden haben.

98 Piloten (34%) fühlen sich als sportlich fit, davon haben jedoch 63 Piloten (64%) Beschwerden (Abb.12 und Zwischenbericht III, Seite 36-38).

Auch aus dieser Aussage ergibt sich keine signifikante Aussage über den Zusammenhang sportliche Fitness - flugabhängige Rückenbeschwerden (Fehlergrenze zu groß!).

Es ist jedoch eher anzunehmen, daß die sportliche Fitness und das eingeschätzte Körpergewicht keinen wesentlichen Einfluß auf die Beschwerden haben.

## 8. Psychische Belastbarkeit - Rückenbeschwerden.

Von 290 Piloten fühlen sich 188 Piloten (65%) mittel belastbar. Hiervon geben 116 Piloten (61%) flugabhängige Rückenbeschwerden an.

Als hoch belastbar bezeichnen sich 94 Piloten (32%), wovon 71 Piloten (75%) über Rückenbeschwerden klagen.

Nur 8 Piloten (3%) schätzen sich als gering belastbar ein. Alle 8 Piloten (100%) klagen über Rückenbeschwerden durch den Flug bedingt (Abb. 13 und Zwischenbericht III, Seite 39-41).



Auffallend ist hier, daß sich eine große Anzahl von Piloten als hoch belastbar einschätzt und dennoch 71 dieser Piloten (75%) flugabhängige Rückenbeschwerden angeben. Erst bei 57 Piloten ergäbe sich eine Beschwerdesymptomatik (61%) wie bei den mittel belastbaren Piloten. Belasten sich die Piloten mit hoher psychischer Einschätzung mehr?

9. Fitness und Belastbarkeit - Rückenbeschwerden.

116 Hubschrauberpiloten schätzen sich als mittel fit und mittel belastbar ein (65%). Davon klagen 71 Piloten (61%) über Rückenbeschwerden (Abb.14 und Zwischenbericht III, Seite 42-44).

58 Piloten (32%) fühlen sich als sehr fit und hoch belastbar; jedoch 41 Piloten (70%) geben flugabhängige Rückenbeschwerden an.

Als gering belastbar und nicht fit bezeichnen sich nur 4 Piloten, die auch alle über flugabhängige Rückenbeschwerden klagen.

Auch hier fällt auf, daß die hohe Belastbarkeit und die sportliche Fitness die Beschwerdehäufigkeit nicht verringert, sondern eher erhöht. Die Aussage "geringe Belastbarkeit und geringe Fitness führt zu Rückenbeschwerden" läßt sich aufgrund der geringen Pilotenzahl nicht ableiten.

## Zusammenfassung

Aus den 9 Statistiken geht hervor, daß ein überwiegender Teil der Hubschrauberpiloten (60%) flugabhängige Beschwerden hat, die vorwiegend im LWS-Bereich und im HWS-Bereich liegen. Hierbei spielt sowohl die Beinhaltung als auch im geringeren Umfang die Armhaltung eine Rolle. Im BWS-Bereich treten kaum Beschwerden auf. Die Beschwerden der Piloten werden durch das Körpergewicht und die Körpergröße kaum beeinflusst. Die unterschiedlichen Hubschraubertypen zeigen insgesamt eine ähnliche Auswirkung auf die Rückenbeschwerden, obwohl unterschiedliche Pilotensitze konzipiert wurden. Ein geringere Beschwerdesymptomatik aufgrund besserer körperlicher Fitness und psychischer Stabilität kann nicht nachgewiesen werden.

### 3.3 Vermessung des neuen Hubschrauber-Pilotensitzes (Dupuis)

Der nach Angaben von Prof.Dr. Dupuis entwickelte Pilotensitz für Hubschrauber wurde an der Innen-Oberfläche mittels der Topometrie vermessen. Die Oberflächenform wird durch ein maßstäbliches Rastergitter in drei orthogonalen Ebenen und 2 Perspektiven dargestellt. Der Sitz zeigt eine rechts-links-Symmetrie mit seitlichen Randerhöhungen gegen Seitverschiebungen. Die Lordosehöhe ist einstellbar. Die Sitzhöhe und die Rückenlehnenstellung sind variabel. Sowohl die Nackenstütze als auch die Sitzfläche und die Rückenschale zeigen Längsrillen zu besserer Belüftung. Die Sitzgestaltung entspricht den breiten orthopädischen Forderungen für eine gute Sitzhaltung (Abb.15 und Zwischenbericht III, Seite 45-50). Eine wichtige Aussage zu Beurteilung des Sitzes liegt in der Gesamtbetrachtung des Arbeitsplatzes Hubschrauber. Wie in den Abbildungen 16.1, 16.2 gezeigt werden kann, hängt das Sitzverhalten der Piloten entscheidend von der Reichweite der zu bedienenden Steuerelemente zur Hubschrauberführung ab. Die Abb.16.1 zeigt, daß zwei Piloten unterschiedliche Sitzhaltungen aufgrund der anatomischen

Körpervariation einnehmen, wenn man sie auffordert, hierbei den Steuerknüppel zu unverändert festzuhalten. Obwohl vorher eine individuelle Sitzeinstellung vorgenommen wurde, sind Kopf-, Arm-, und Beinhaltung für beide Piloten unterschiedlich, wenn sie in gleiche Hüftgelenkpositionen zur Sitzfläche verschoben werden.

### 3.4 Simulatorvermessungen

Eine detaillierter Aussage über mögliche Sitzhaltungen liefern uns on-line Vermessungen im Simulatorversuch bei möglichst guter Sitzgestaltung.

In Abb.17 sind 4 Meßreihen an vier Piloten im Simulator durchgeführt worden. Als Bezugspunkte wurden die jeweilige rechte und linke Schulterhaltung sowie die Steuerknüppelstellung vermessen. Im Simulatorversuch 1,2 und 3 wurden die Piloten aufgefordert, bequeme Steuerknüppelbewegungen durchzuführen, um die Veränderung der Schulterstellungen zu erfassen.

Man erkennt deutlich die verschiedenen, individuellen Grundhaltungen der Piloten aus den drei orthogonalen Ansichten. Darüberhinaus erkennt man, daß der etwa gleiche Bewegungsspielraum am Steuerknüppel im 1. Simulatorversuch mit der geringsten Schulterbewegung einhergeht. D.h. dieser Pilot kann am besten eine vorgegebene Sitzhaltung halten. Wiederholt man diesen Versuch unter simulierten Flugbedingungen ( Simulatorversuch 4), so ergeben sich gänzlich andere Meßergebnisse. Obwohl die Steuerknüppelbewegung nur geringfügig vergrößert wird, sind die daraus resultierenden Schulterbewegungen erheblich größer. Die Schulter wird asymmetrisch unterschiedlich (re/li) geführt. Es kommt sogar zu einer stärkeren Auslenkung einer Schulter als die Steuerknüppelbewegung vorgibt. Damit werden hohe Schulter-Beckenrotationen (Aufsicht) durchgeführt, die sowohl den LWS-Bereich als auch den HWS-Bereich der Wirbelsäule betreffen. In der Sagittalsicht läßt sich das Ausmaß der exzentrischen Körperbewegung nach vorne (aus dem Sitz) bzw. nach hinten (in den Sitz) ablesen.

Hieraus wird eine biomechanische, fundamentale Erklärung für die Rückenprobleme der Hubschrauberpiloten deutlich sichtbar.

Vergleicht man Körperpunktbewegungen von 2 Hubschrauberpiloten im Simulatorversuch unter ähnlichen Flugbedingungen, wobei der Pilot die Steuerknüppelstellung nicht ändern soll (Abb.18), so erkennt man für jeden Piloten ein individuell differentes Körperverhalten. Während Pilot 1 ruhige Ausgleichsbewegungen zeigt, führt Pilot 2 unruhige Stellungsänderungen durch. Gleichzeitig bewegt er den Körper unruhig nach vorne aus dem Sitz (Aufsicht).

Hilfsmaßnahmen zur Verbesserung der Körperhaltung von Hubschrauberpiloten sind nur bedingt zu vertreten. Messungen zeigen, daß man die statische Rückenhaltung der Piloten verbessern kann, wenn man kleine Abstandskissen am rechten Unterarm oder auf dem rechten Oberschenkel des Piloten mittels Klettverschluß anbringt. Da sich der Pilot normalerweise mit dem rechten Ellbogen auf dem Oberschenkel abstützt, erfolgt durch diese Kissen eine Anhebung der rechten Schulter und somit leichte eine Aufrichtung der Wirbelsäule. Durch eine asymmetrische Polsterung des Pilotensitzes mit einer Verstärkung der Lehne durch eine Schaumpolsterung im linksseitigen Schulterbereich wird diese leicht nach vorne gedrückt und verhindert dadurch eine Schulterdrehung in dieses Polster.

Kompensatorisch neigt sich der Pilot noch stärker nach vorne und verstärkt seine kyphotische Grundhaltung. Gleichzeitig wird durch die kleinen Kissen die stabile Ellebogenlage destabilisiert. Dies ist besonders während der unterschiedlichen Flugbedingungen von Nachteil.

Eine statische aufrechte Becken-Schulterhaltung ohne Rotationsfehlstellungen ist nur dadurch zu erreichen, daß der zentrische Steuerknüppel möglichst hochgezogen wird, der Ellenbogen in der hohen Stellung mechanisch abgestützt wird und die Steuerknüppelbewegung nur einen kleinen Spielraum

benötigt. Die übrige Apparatur für die rechte Hand bzw. die Füße muß dieser Grundstellung angepaßt werden. Für die Steuerknüppelbewegung bietet sich ein elektronischer, zentrischer Joystick an.

Da diese nachträgliche Umbaumaßnahmen bei den vorhandenen Hubschraubertypen nicht durchgeführt werden können, ist dies eine Planungsvorschlag für die Zukunft.

Um die Beschwerden bei den 60 % der Hubschrauberpiloten zu verringern bzw. zu vermeiden, bleibt allein ein Fitnesstraining mit physiotherapeutischem Ansatz als ultima ratio übrig. Hierbei stehen Muskeldehneffekte im LWS-Bereich, Haltungsschulung des Rückens (Kypo-Lordosehaltung) und Lockerungsgymnastik Vordergrund der Übungen. Die Kräftigung der Bauch- und Rückenmuskulatur sollte hier sekundär berücksichtigt werden. Diese Übungen sollten von Sportphysiotherapeuten den Piloten fachgerecht beigebracht werden. Als minimale Einheit wird hier ein wöchentliches Training von 3 x 60 Minuten empfohlen.

## Ausblick

Aus den bisherigen Ergebnissen einschließlich der vorherigen Zwischenberichte beantworten sich die Fragen, inwieweit der Arbeitsplatz Hubschrauber unter Einschluß der Sitzgestaltung die Symptomatik "flugabhängige Wirbelsäulenbeschwerden" beeinflusst.

Die Rückenbeschwerden werden unabhängig von den verschiedenen Sitzgestaltungen der unterschiedlichen Hubschraubertypen **gleicherweise** angegeben. Weiterhin zeigt das Ergebnis unserer Untersuchungen und Vermessungen, daß die in allen Hubschraubertypen eingenommene Sitzhaltung durch eine Oberkörpervorlage und eine Schulter-Beckenverdrehung (rechte Schultervorlage) gekennzeichnet ist.

Diese Verdrehung führt zu einer Lendenwirbelverdrehung, welche die LWS-Problematik beschreibt. Gleichzeitig zeigen 30 vermessene Hubschrauberpiloten die beschriebene Schulter-Beckenrotation auch außerhalb des Arbeitsplatzes Hubschrauber auf normalen Sitzhockern.

Hieraus könnte angenommen werden, daß diese Rotationsstellung Folge des Arbeitsplatzes Hubschrauber ist, was die Beschwerdesymptomatik erklären könnte. Ein Zusammenhang zwischen LWS-Beschwerden und Hubschrauberarbeitsplatz würde durch die bisher notwendige Rotationsstellung des Oberkörpers zum zentralen Steuerknüppel erklärt.

Auch durch eine optimale Stuhlgestaltung kann diese Rotationsstellung **nicht** behoben werden. Hierzu müßte der Arbeitsplatz Hubschrauber durch eine Veränderung der Steuerknüppelführung und Sitzhaltung durch eine darauf angepaßte Stuhlgestaltung abgeändert werden.

Hierfür wären nach obigen Erläuterungen zusätzliche Studien am Simulator unter veränderten Arbeitsplatzbedingungen notwendig. Wie verhält sich ein Pilot bei unterschiedlicher Steuerknüppelstellung (zentral, dezentral). Wie verändert sich die Körperhaltung der Piloten bei leicht manipulierbaren, elektronische Steuerung gegenüber einer mechanischen Steuerung unter **Flugbedingungen (Simulator)**. Aus derartigen Ultraschall-Messungen (siehe

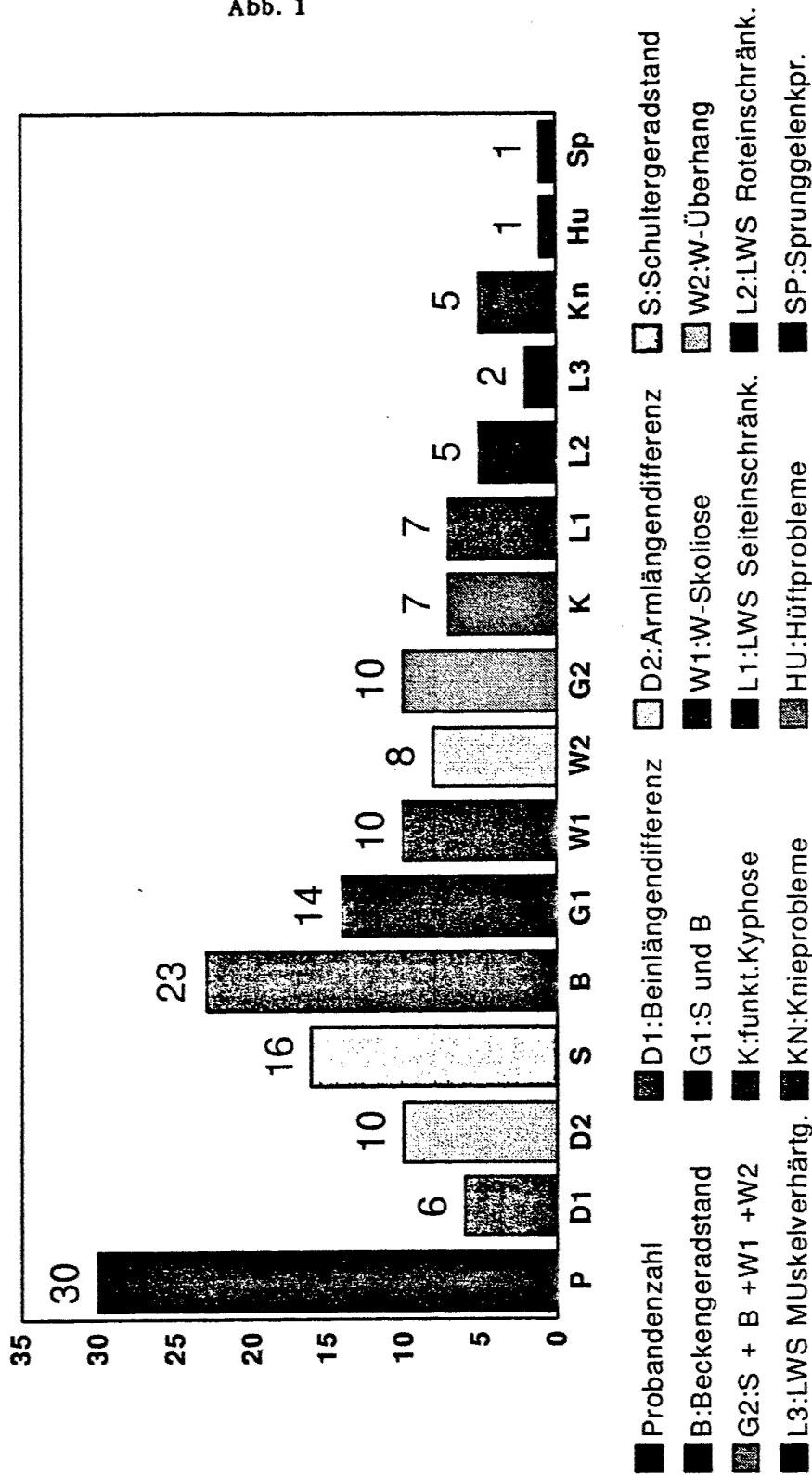
Abb. 18) lassen sich sogar Schulungsprogramme quantifizieren und individuelle Fertigkeiten ablesen.

Inwieweit die von uns vermessenen Rotations-Fehlstellungen auch bei Nicht-Hubschrauberpiloten auftritt, müßte in einer parallelen Untersuchung geklärt werden, um eventuellen Schadensersatzansprüchen gerecht zu werden.

# BW-Hubschrauberpiloten

## 30 Orthopädische Untersuchungen

Abb. 1





# Rückenhaltung

topometrische Messungen

| Pilotennr. | Symmetrie<br>(Aufsicht) | Schulter-Becken-<br>Rotation (Aufsicht) | Symmetrie<br>(pa-Sicht) | Schulter-Becken-<br>Rotation (pa-Sicht) | Seitsicht<br>Kypholordose |
|------------|-------------------------|---|-------------------------|---|---------------------------|
| 1          | A - S                   | 2 Grad                                  | A - S                   | 1 Grad                                  | ob                        |
| 2          | A - s                   | 0 Grad                                  | A - S                   | 0 Grad                                  | leichte Rücklage ob       |
| 3          | A                       | 3 Grad                                  | A - S                   | 1 Grad                                  | leichte Rücklage ob       |
| 4          | A - S                   | 6 Grad                                  | A - S                   | 3 Grad                                  | ob                        |
| 5          | A                       | 4 Grad                                  | S                       | 2 Grad                                  | leichte Rücklage ob       |
| 6          | A                       | 2 Grad                                  | A - S                   | 1 Grad                                  | starke Rücklage           |
| 7          | A - S                   | 1 Grad                                  | S                       | 0 Grad                                  | Flachrücken in Rücklage   |
| 8          | A                       | 0 Grad                                  | A - S                   | 1 Grad                                  | ob                        |
| 9          | A                       | 6 Grad                                  | A                       | 2 Grad                                  | ob                        |
| 10         | A                       | 1 Grad                                  | A                       | 0 Grad                                  | flache Kypholordose       |
| 11         | A                       | 1 Grad                                  | A                       | 0 Grad                                  | Flachrücken               |
| 12         | A                       | 3 Grad                                  | A                       | 1 Grad                                  | Flachrücken               |

Abb. 2

## Zeichenerklärung

☐ A: asymmetrisch ☐ S: symmetrisch ☐ A-S: Übergang

aufrechte Standhaltung

Abb. 2.1

Rückenhaltung  
bei geradem  
Beckenstand

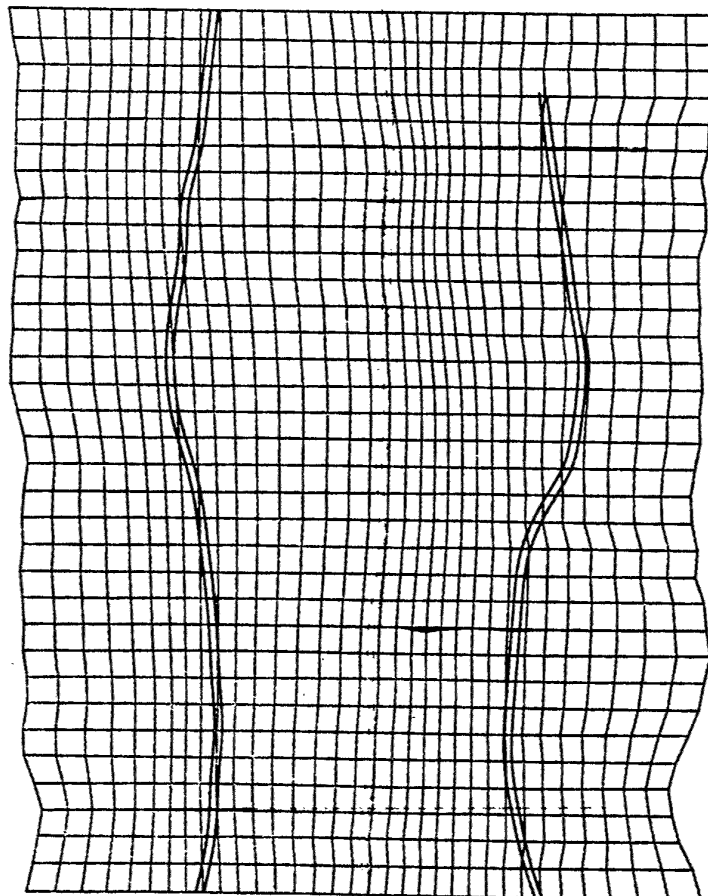
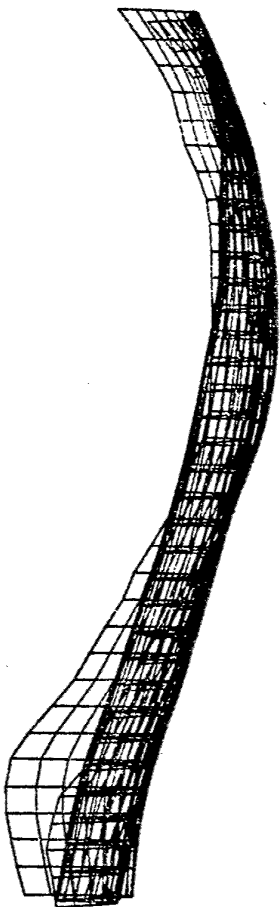
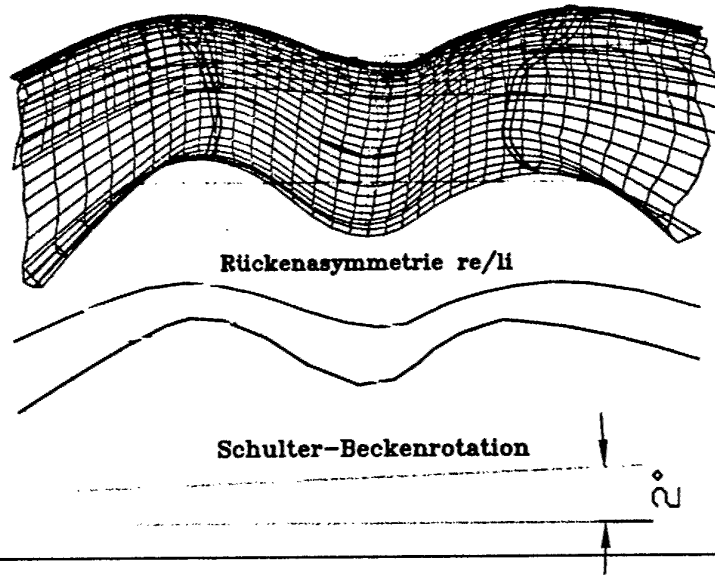


Abb. 2.2

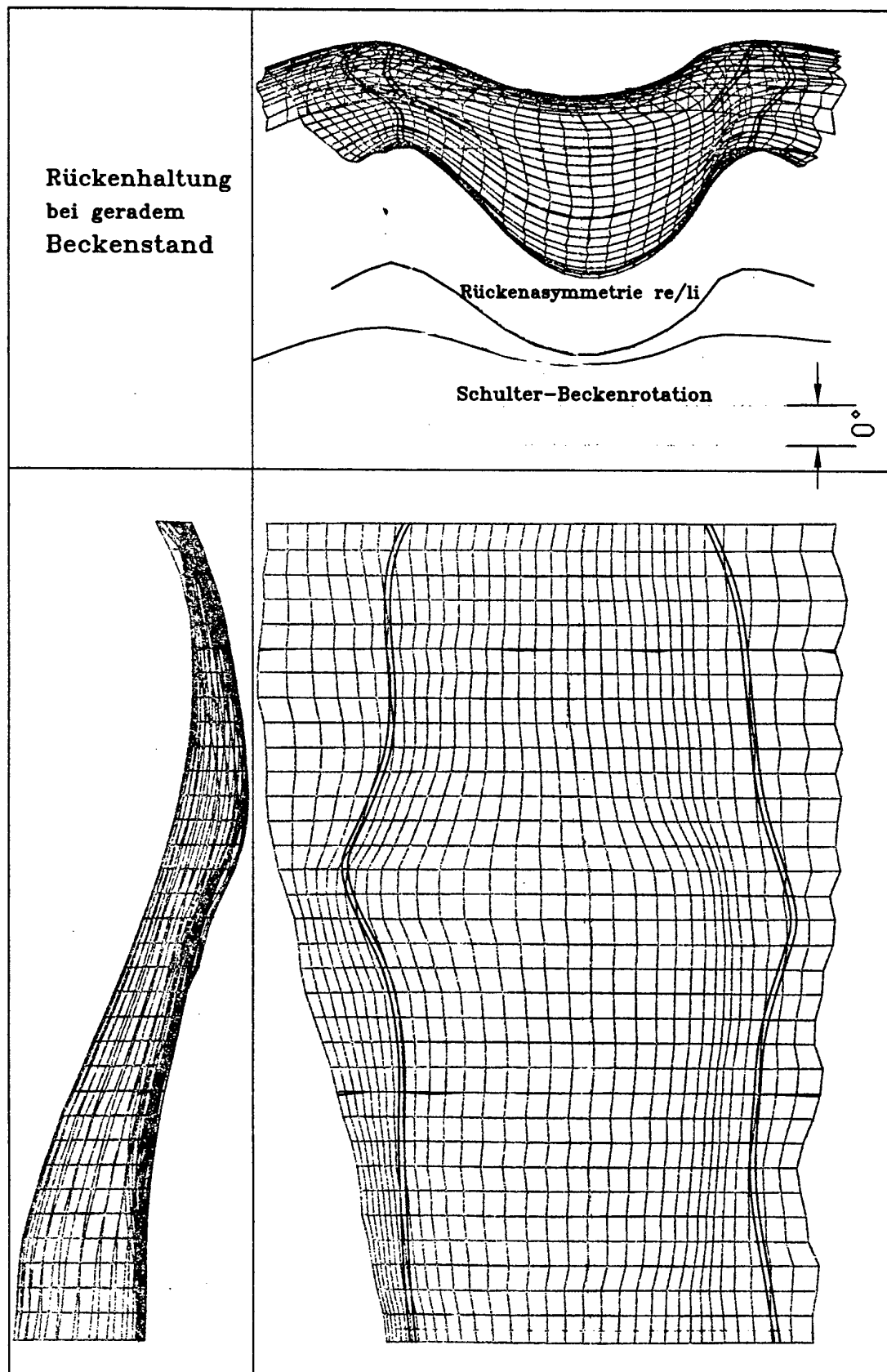


Abb. 2.3

Rückenhaltung  
bei geradem  
Beckenstand

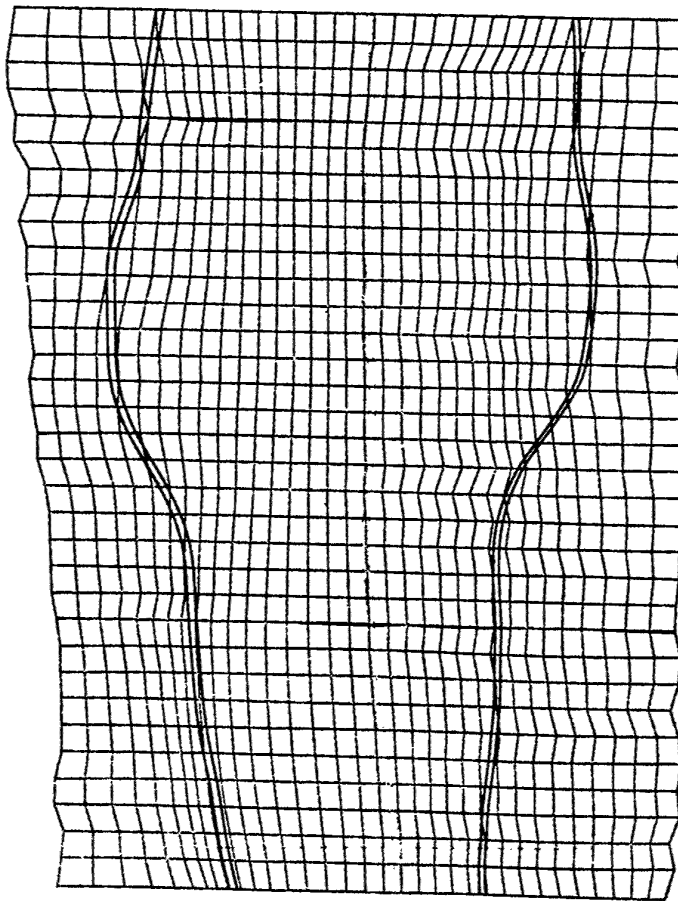
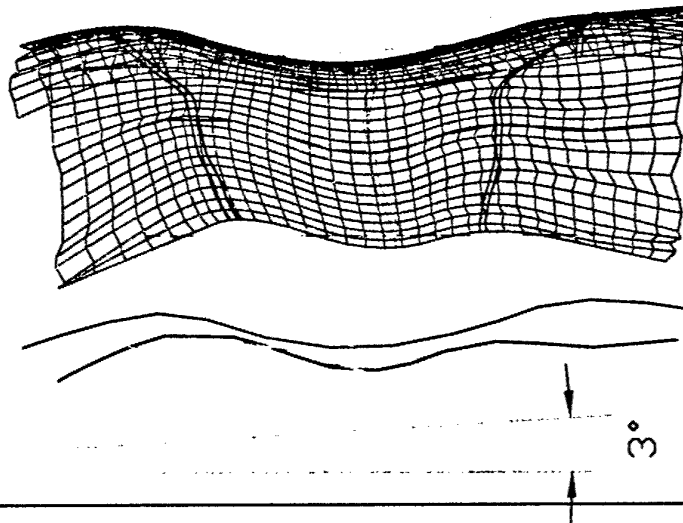


Abb. 2.4

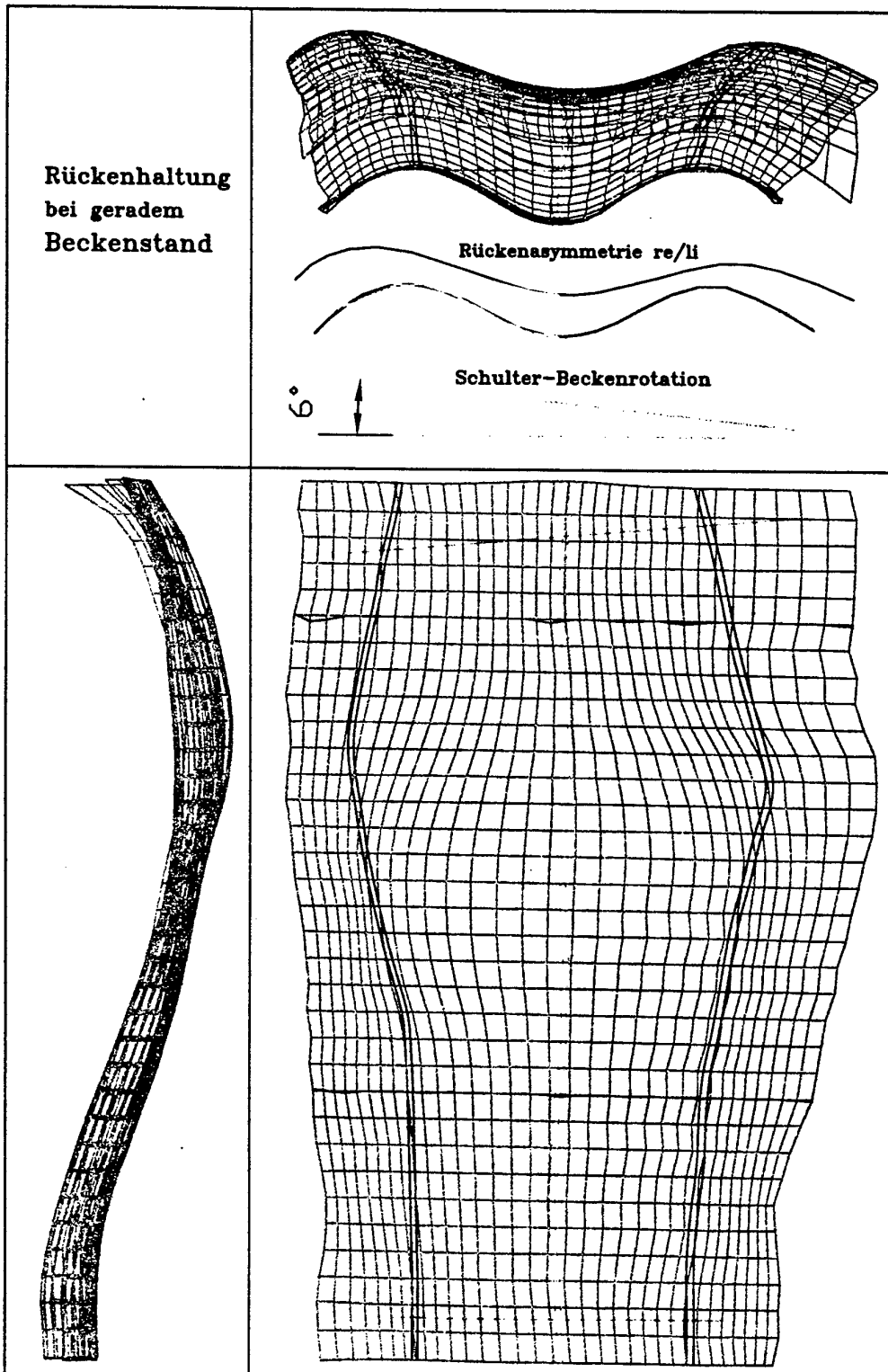
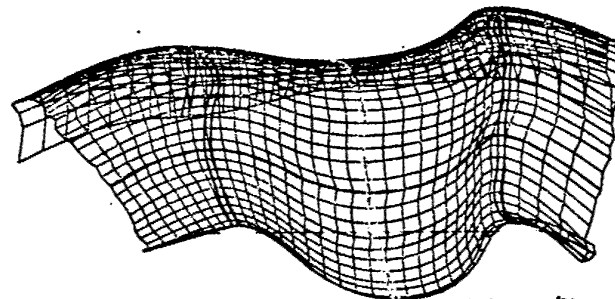
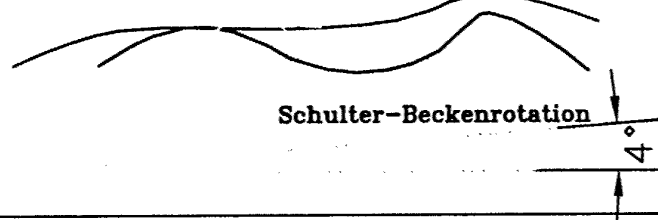


Abb. 2.5

Rückenhaltung  
bei geradem  
Beckenstand



Rückenasymmetrie re/li



Schulter-Beckenrotation

4°

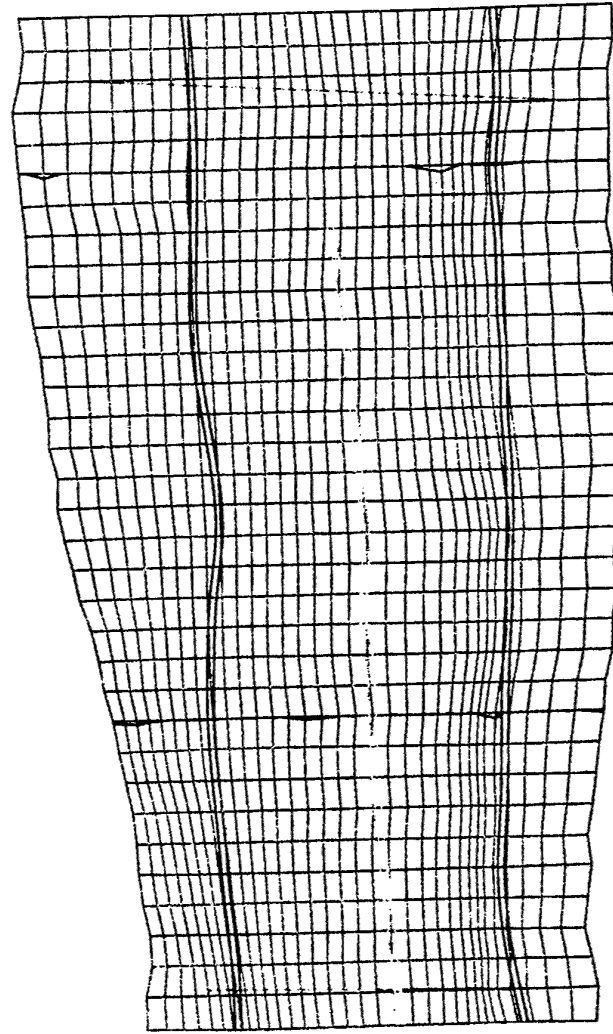
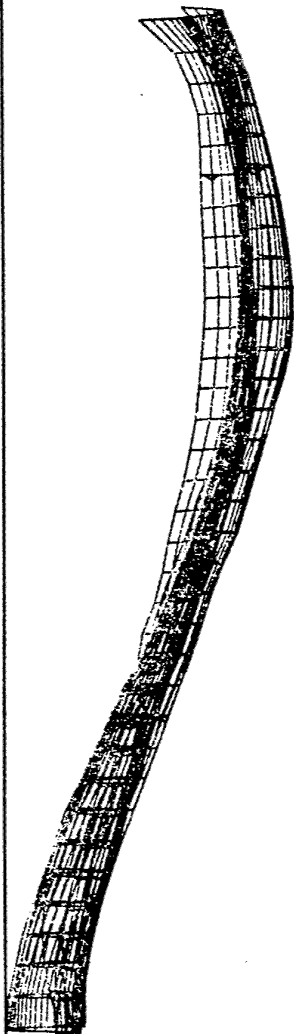


Abb. 2.6

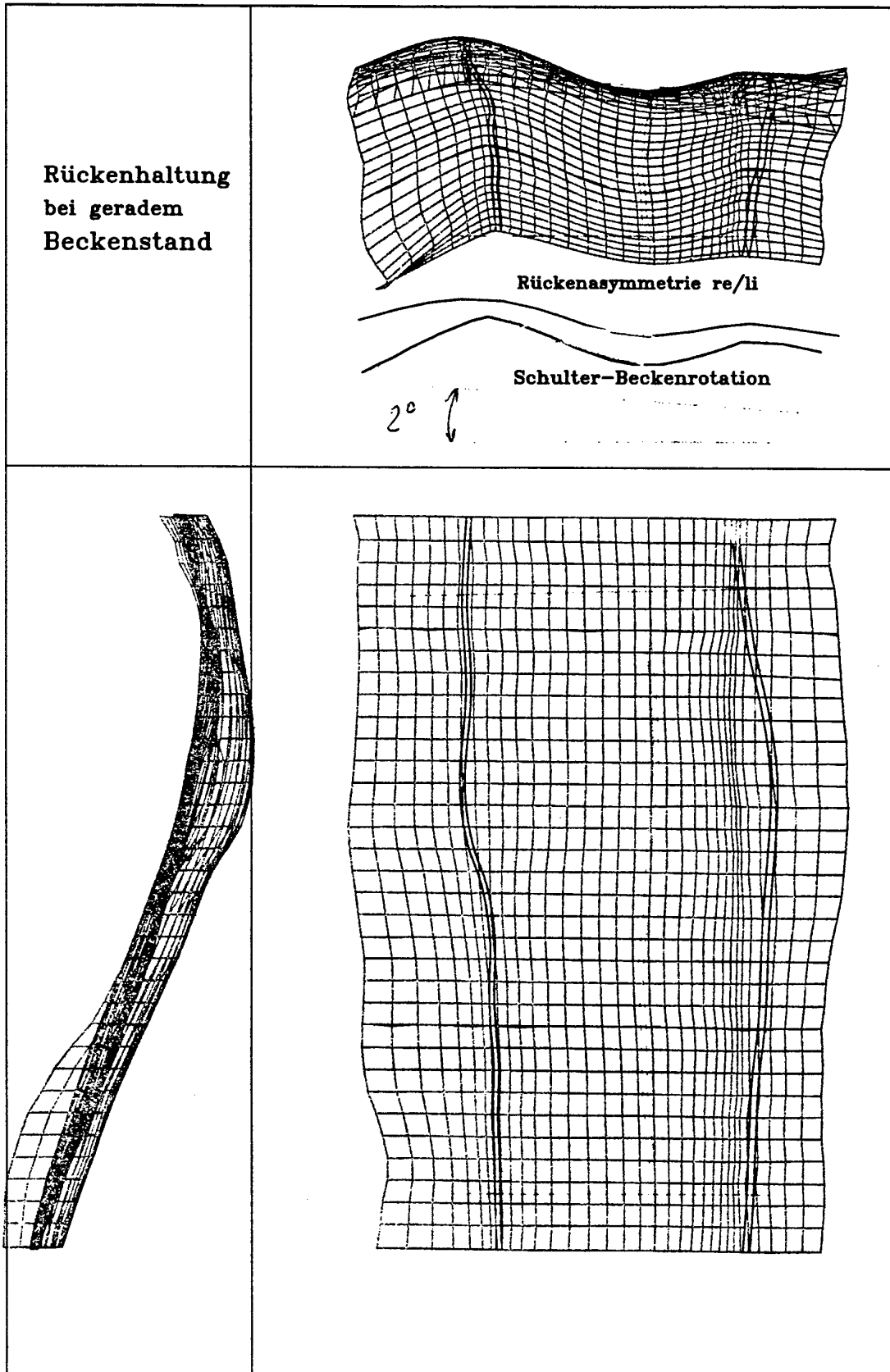


Abb. 2.7

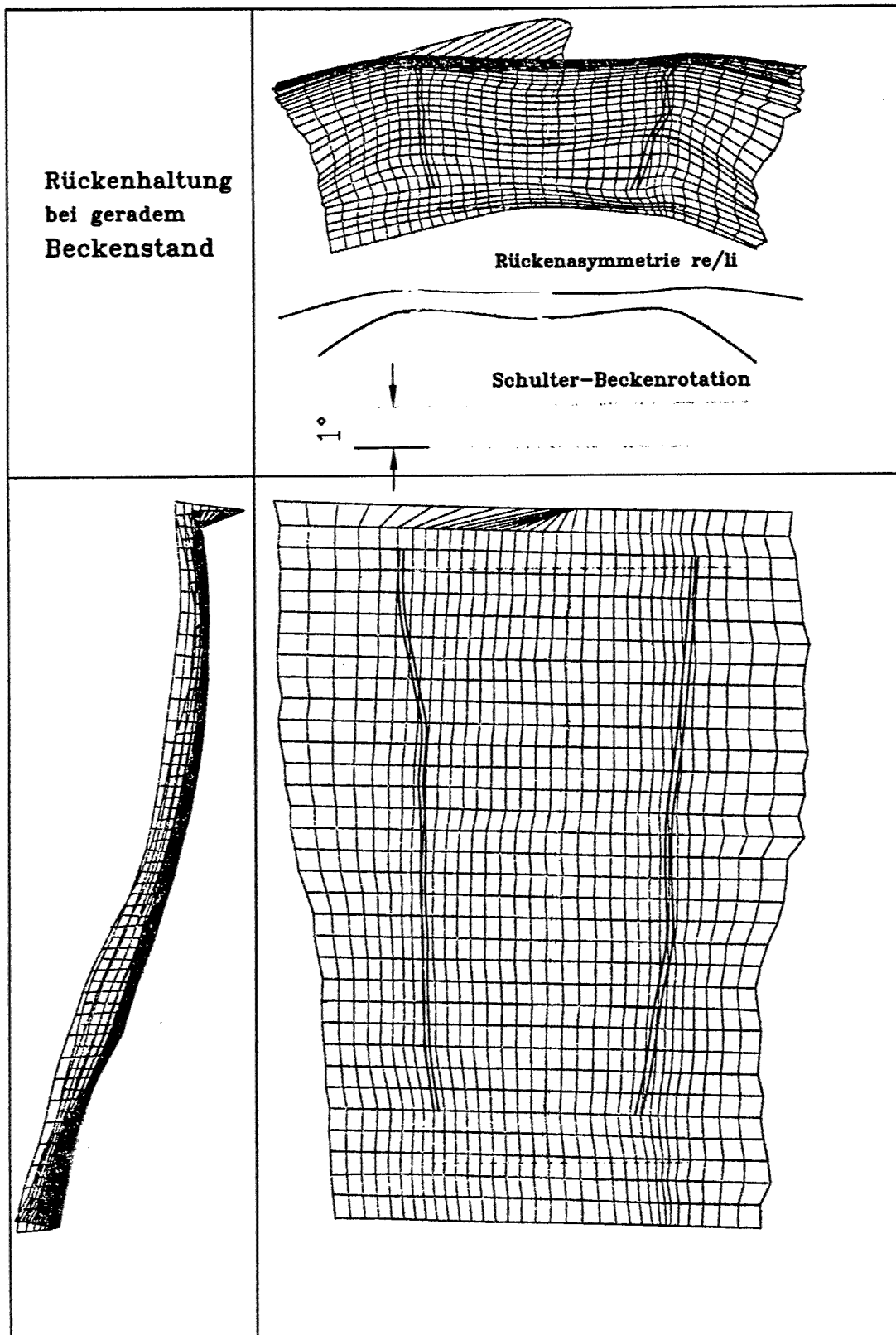




Abb. 2.8

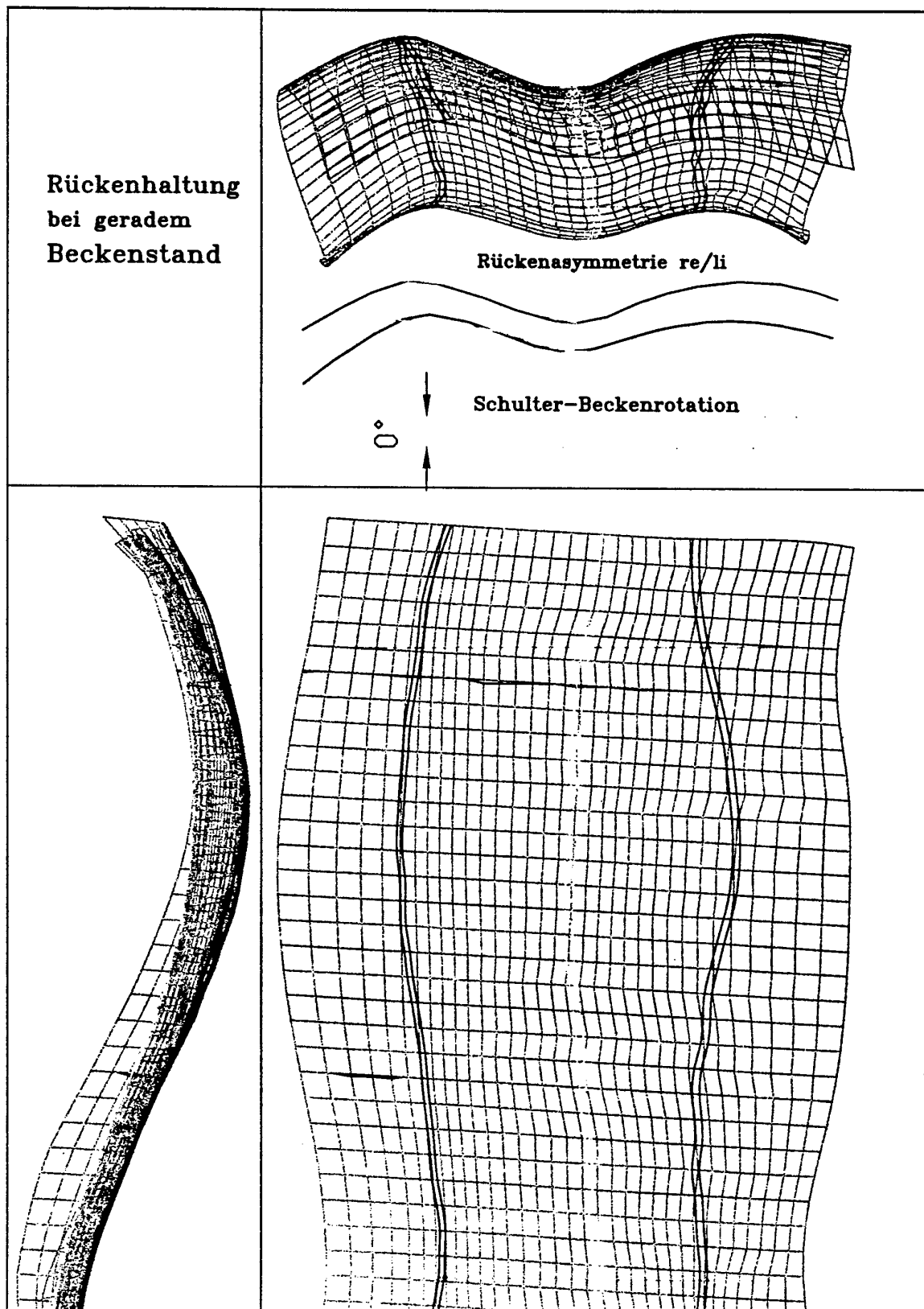


Abb. 2.9

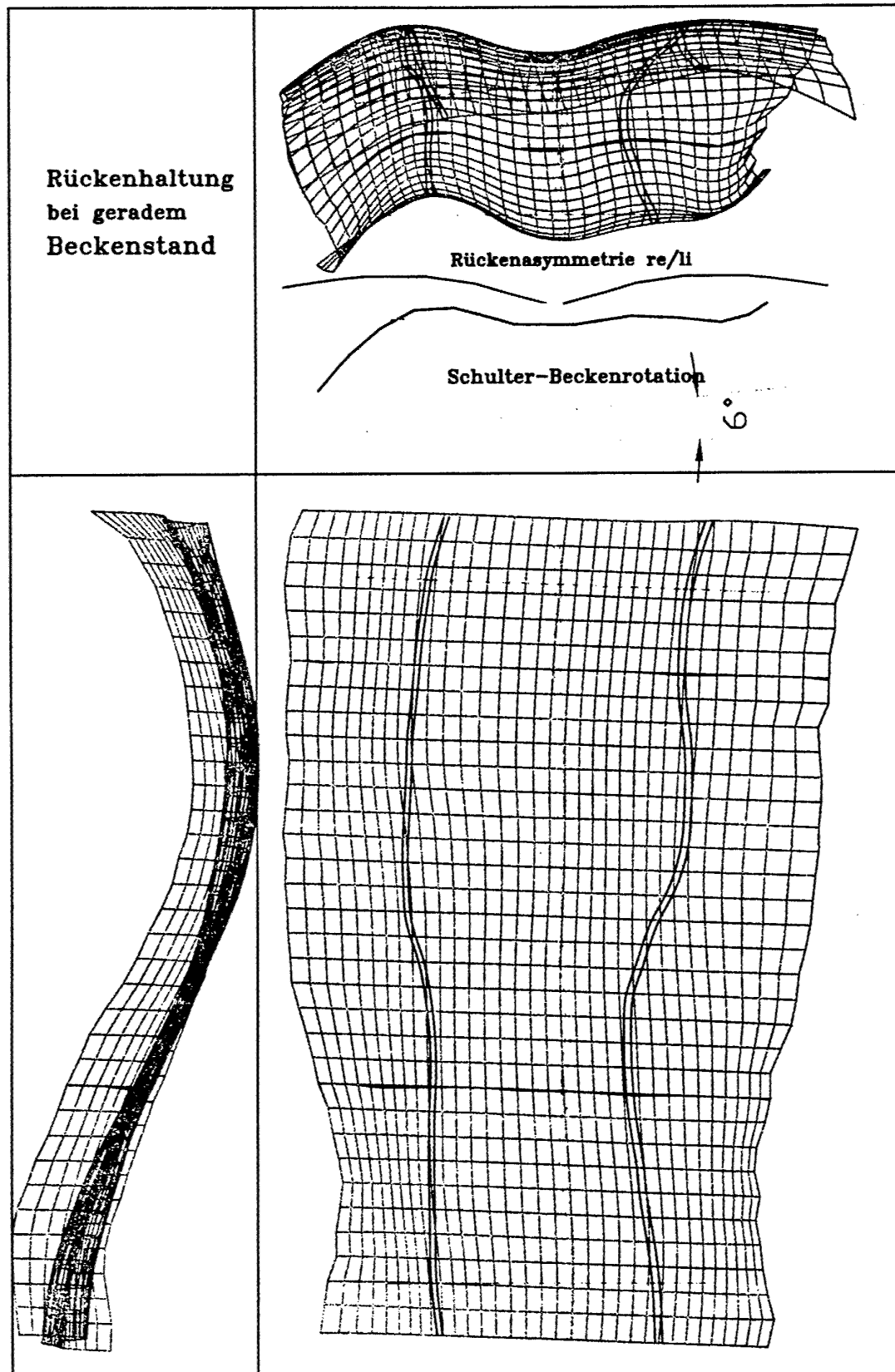
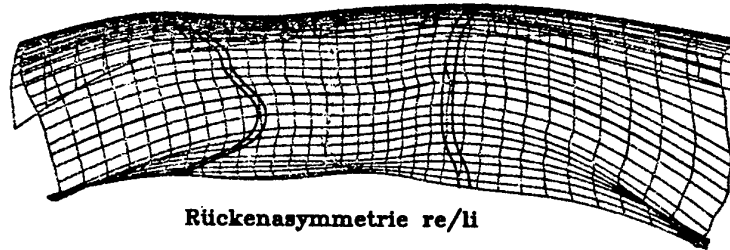
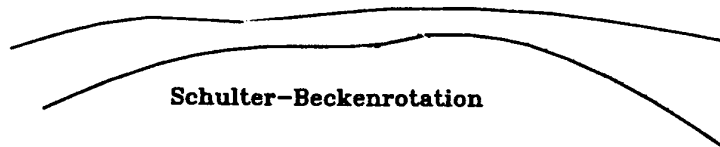


Abb. 2.10

**Rückenhaltung  
bei geradem  
Beckenstand**



**Rückenasymmetrie re/li**



**Schulter-Beckenrotation**

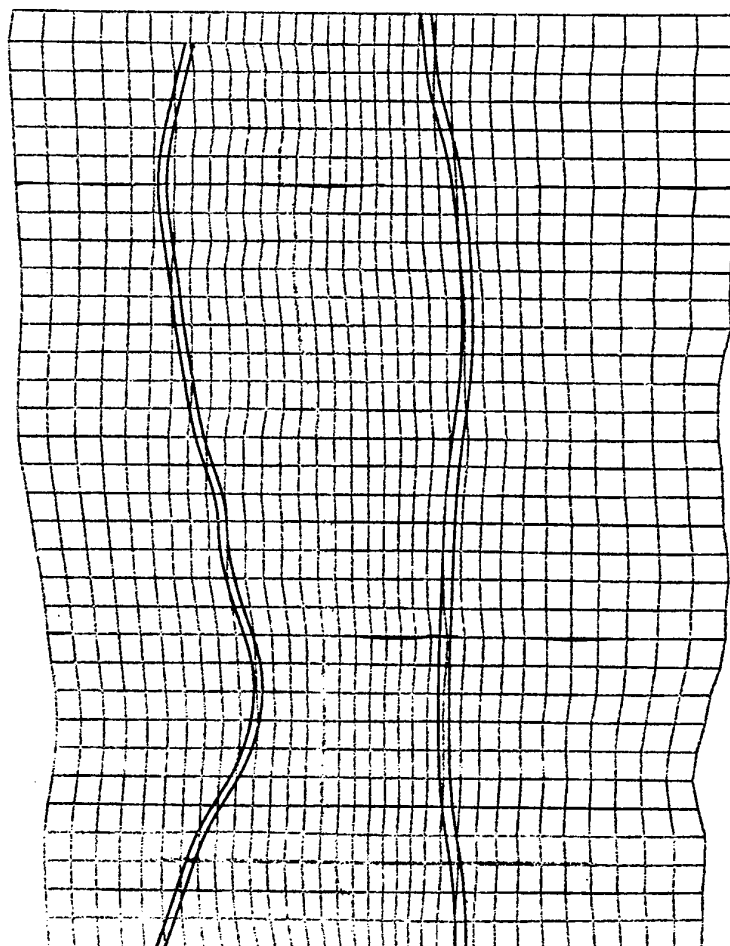
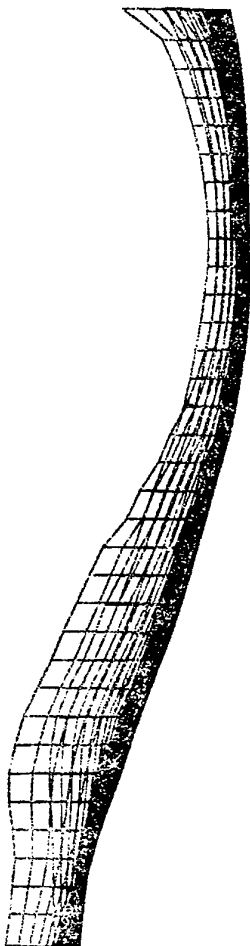


Abb. 2.11

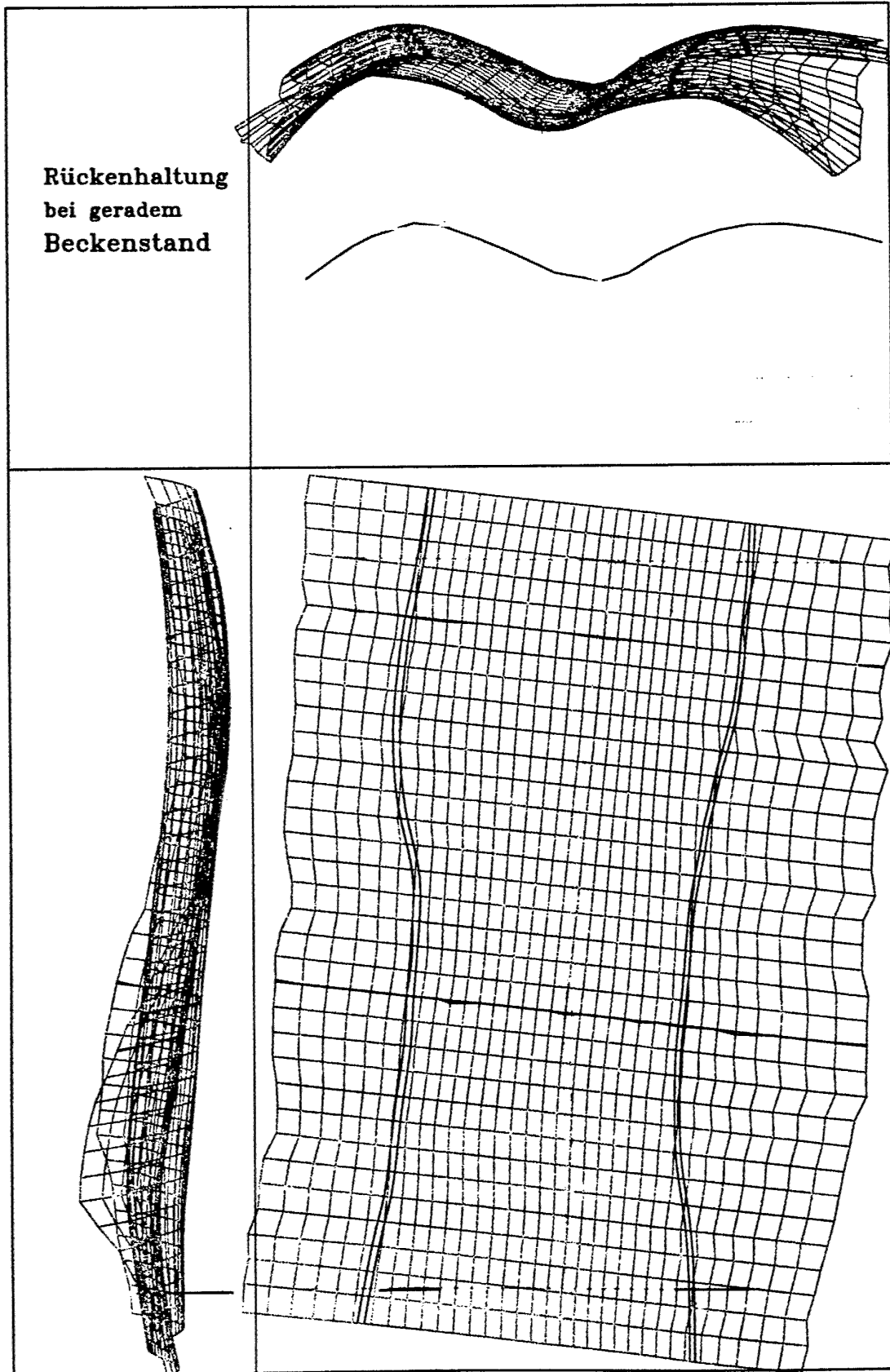
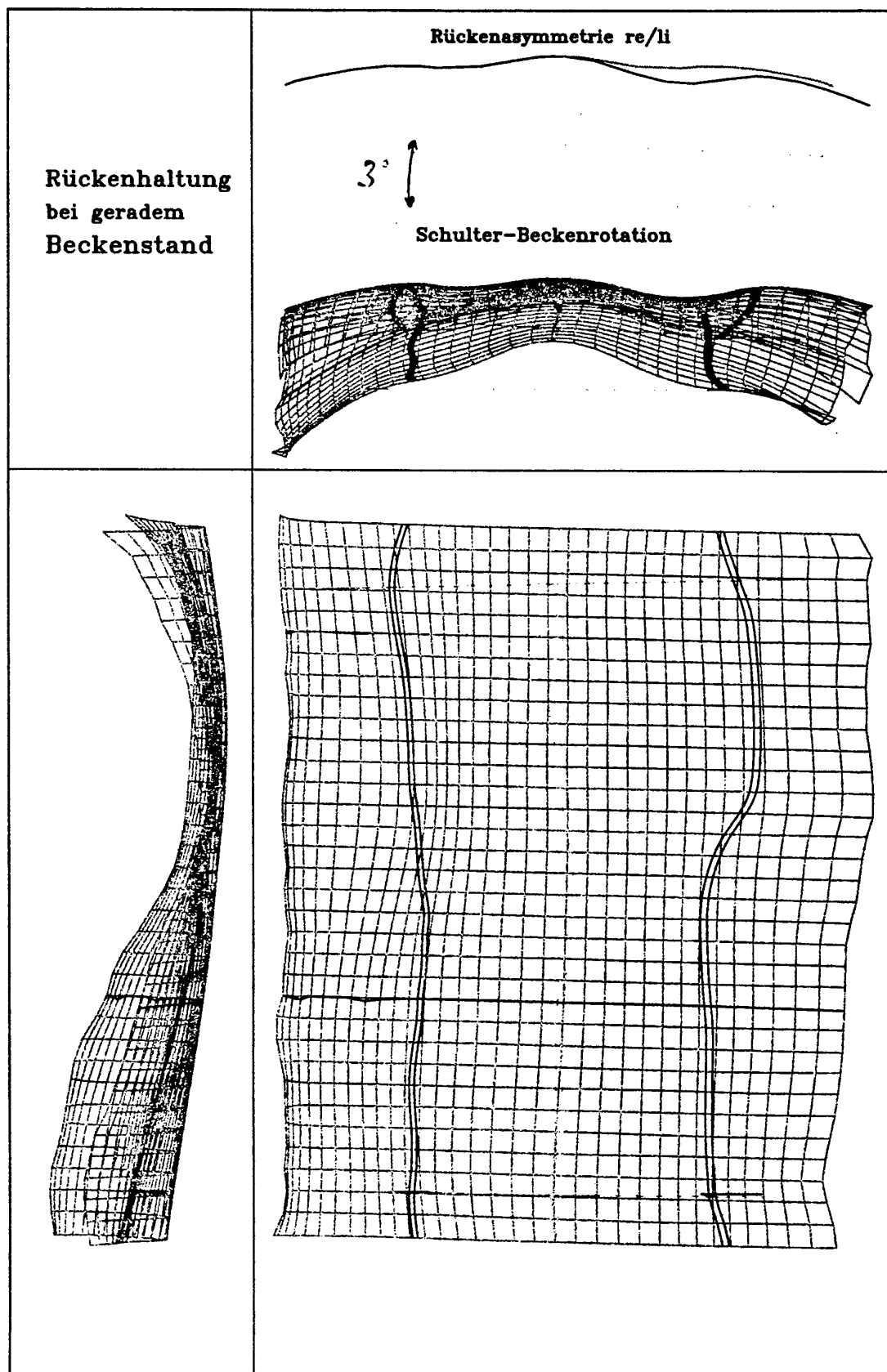


Abb. 2.12



# Rückenhaltung

topometrische Messungen

| Pilotennr. | Symmetrie (Aufsicht) | Schulter-Becken-<br>Rotation (Aufsicht) | Symmetrie (pa-Sicht) | Schulter-Becken-<br>Rotation (pa-Sicht) | Seitsicht<br>Kypholordose           |
|------------|----------------------|---|----------------------|---|-------------------------------------|
| 1          | A                    | 2 Grad                                  | A                    | 1 Grad                                  | Flachrücken                         |
| 2          | A                    | 3 Grad                                  | A - S                | 0 Grad                                  | Flachrücken                         |
| 3          | A                    | 2 Grad                                  | A                    | 2 Grad                                  | leichter Rundrücken                 |
| 4          | A - S                | 1 Grad                                  | A - S                | 0 Grad                                  | ob                                  |
| 5          | A                    | 0 Grad                                  | S                    | 1 Grad                                  | ob                                  |
| 6          | A                    | 3 Grad                                  | A                    | 2 Grad                                  | Rundrücken                          |
| 7          | A                    | 6 Grad                                  | A                    | 2 Grad                                  | leichter Flachrücken in Flachrücken |
| 8          | A                    | 3 Grad                                  | S                    | 2 Grad                                  | flacher Rücken ob                   |
| 9          | A                    | 8 Grad                                  | A                    | 0 Grad                                  | Rundrücken                          |
| 10         | A                    | 1 Grad                                  | S                    | 0 Grad                                  | Rundrücken                          |
| 11         | A - S                | 4 Grad                                  | A                    | 1 Grad                                  | leichter Rundrücken                 |
| 12         | A - S                | 2 Grad                                  | A - S                | 0 Grad                                  | Rundrücken                          |

## Zeichenerklärung

☐ S:symmetrisch ☐ A:asymmetrisch ☐ A-S:Übergang

aufrechte Sitzhaltung

Abb. 3.1

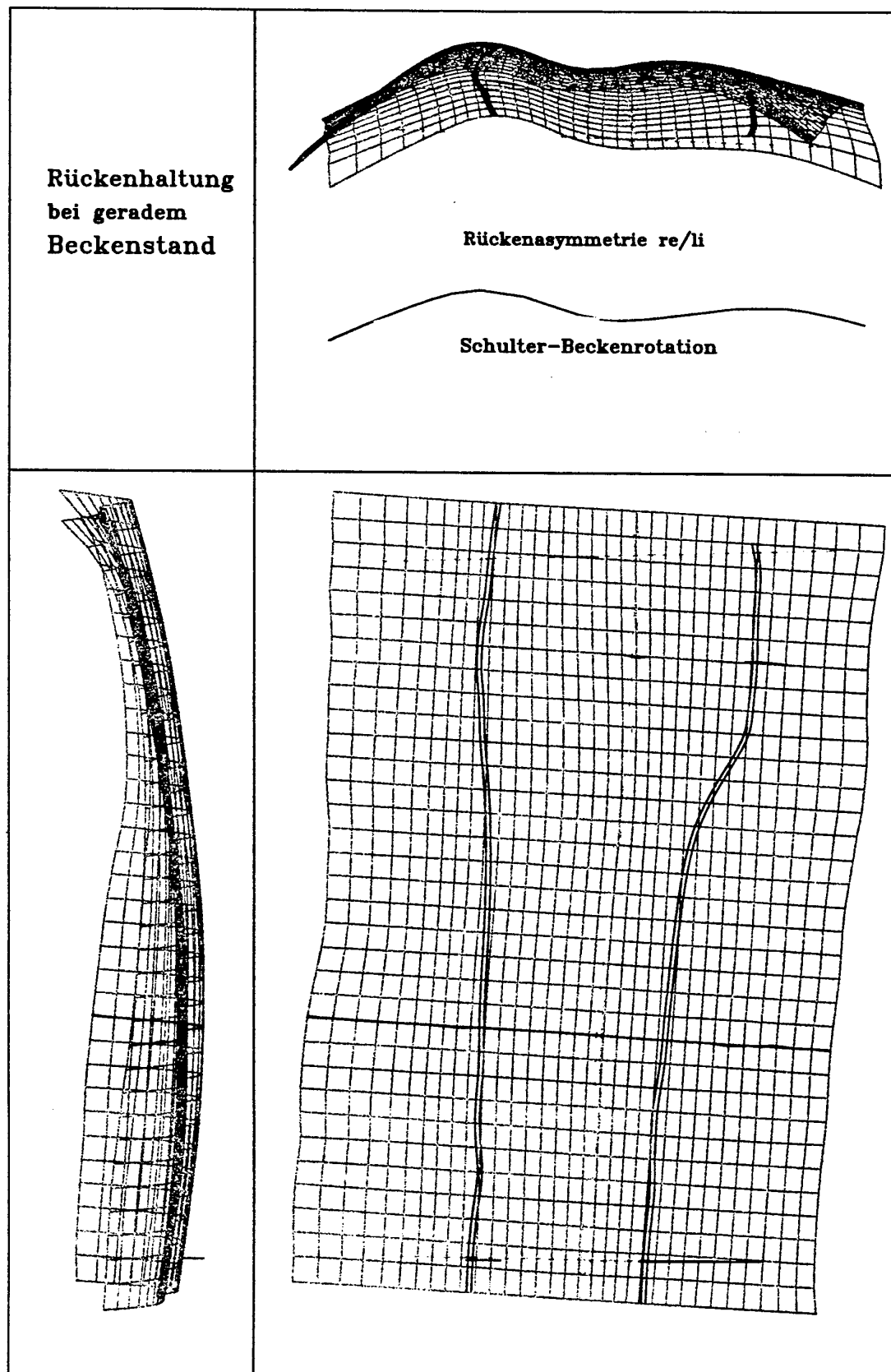


Abb. 3.2

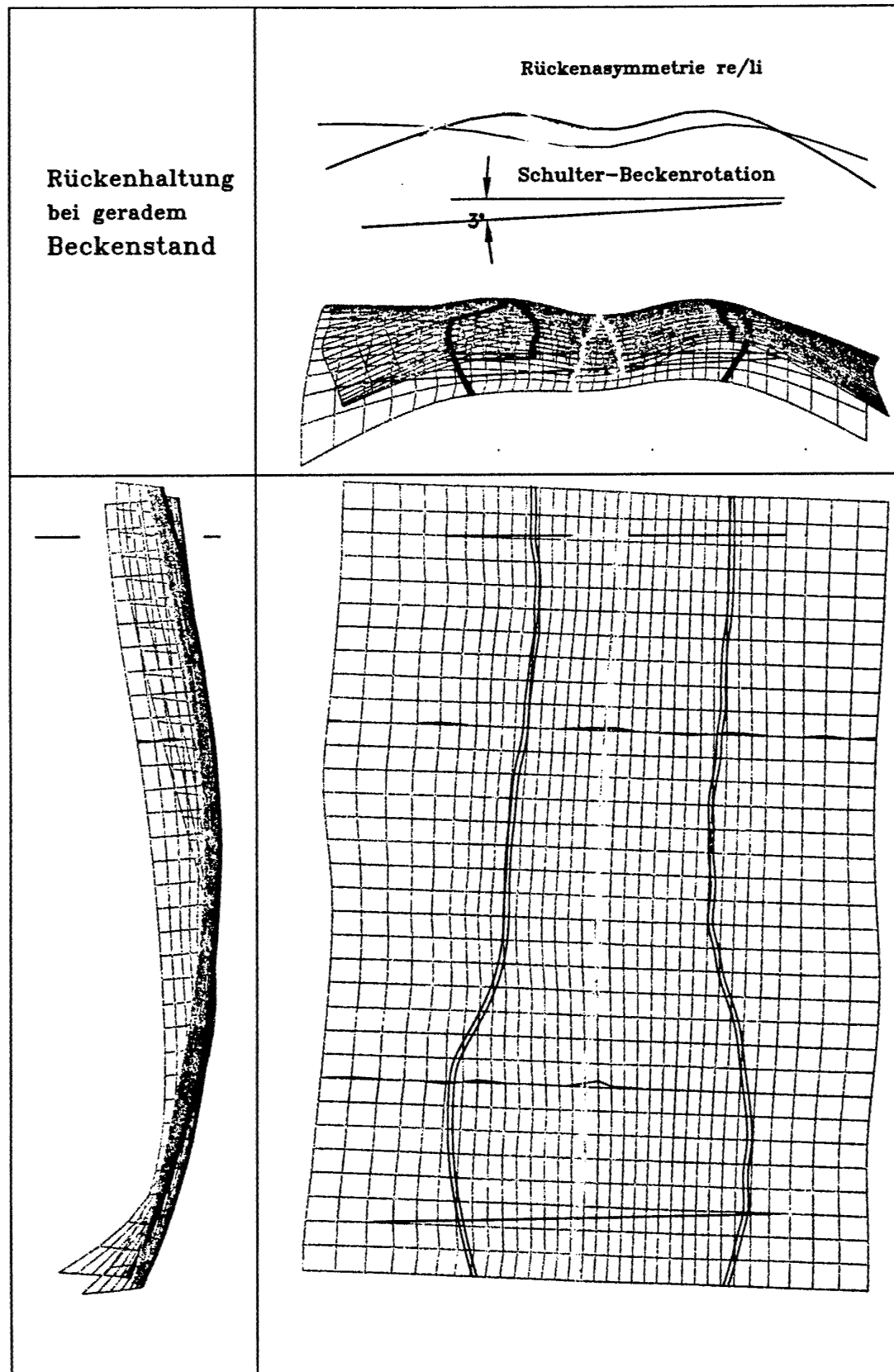




Abb. 3.3

Rückenhaltung  
bei geradem  
Beckenstand

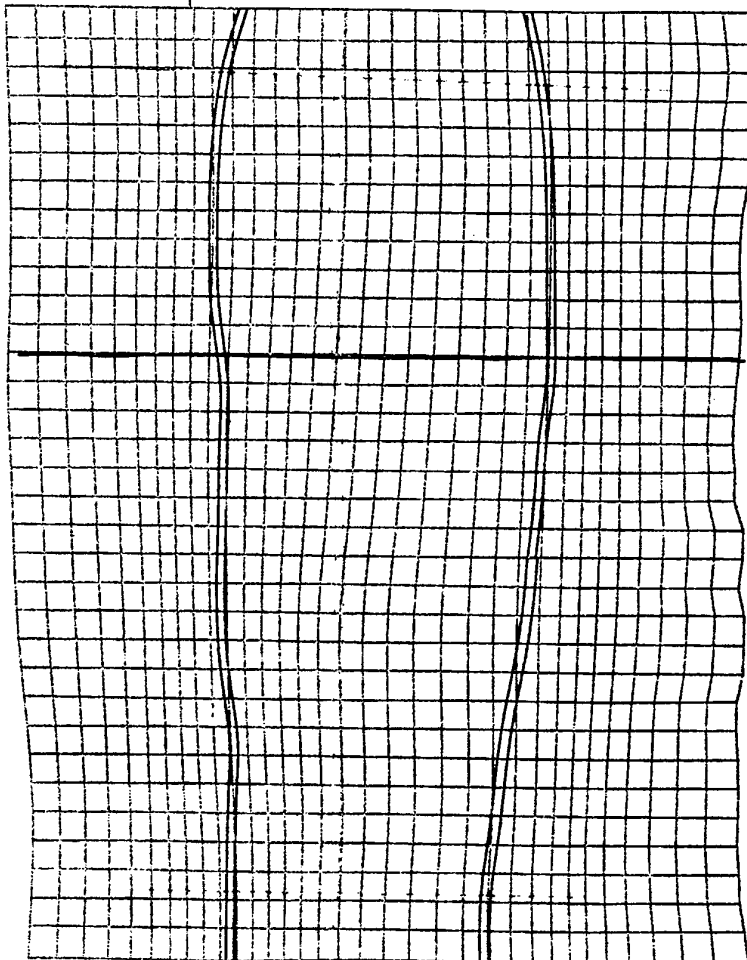
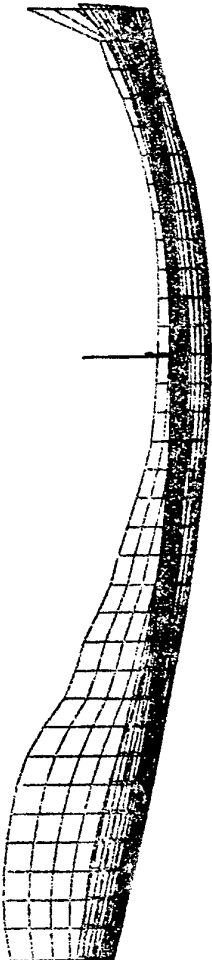
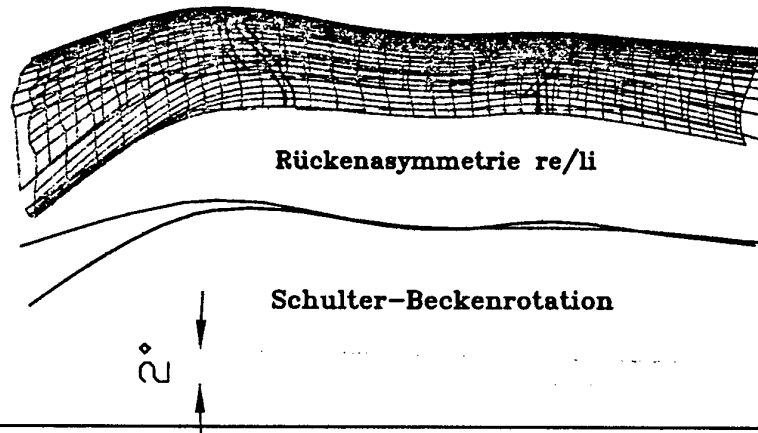


Abb. 3.4

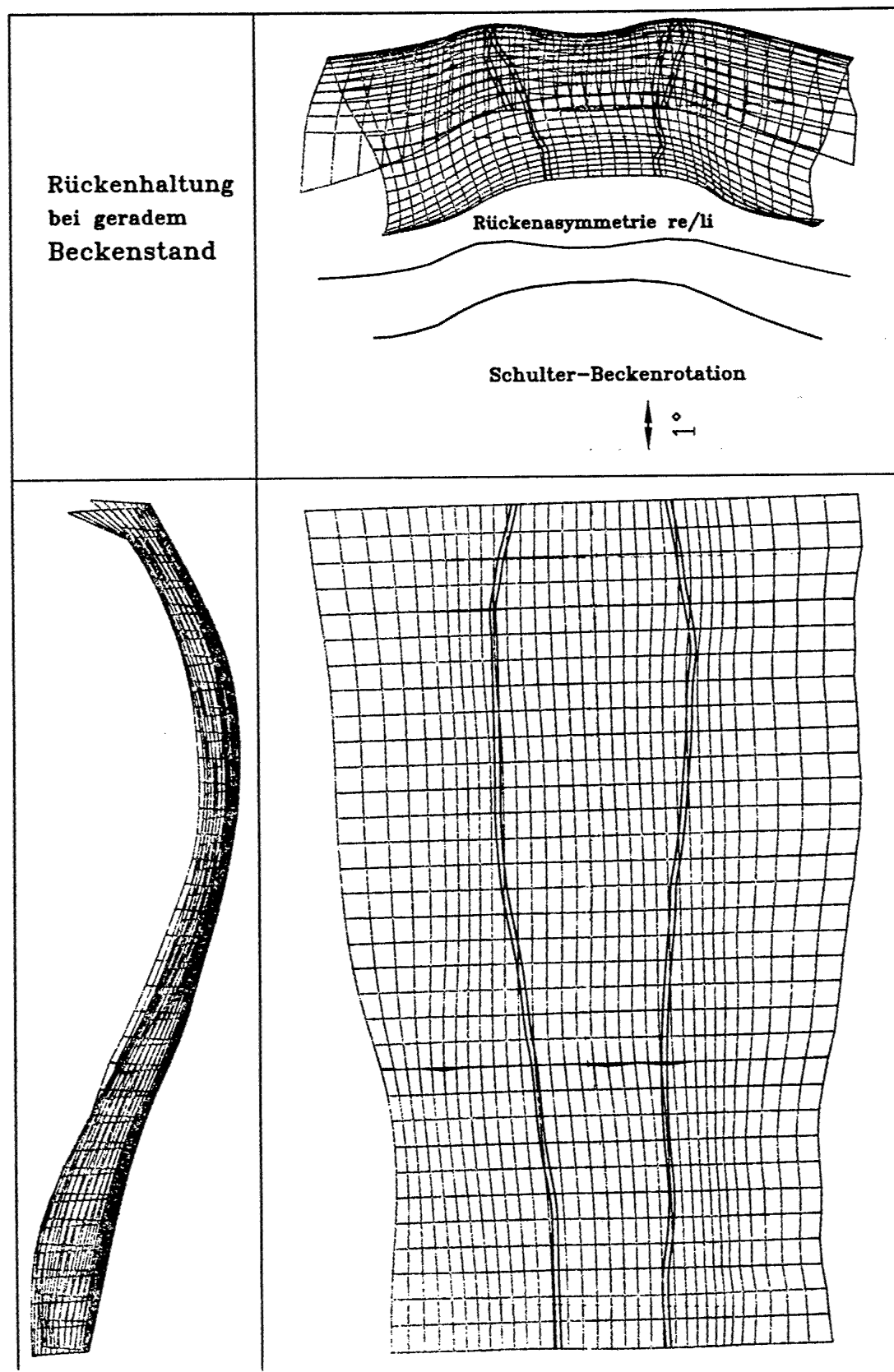


Abb. 3.5

Rückenhaltung  
bei geradem  
Beckenstand

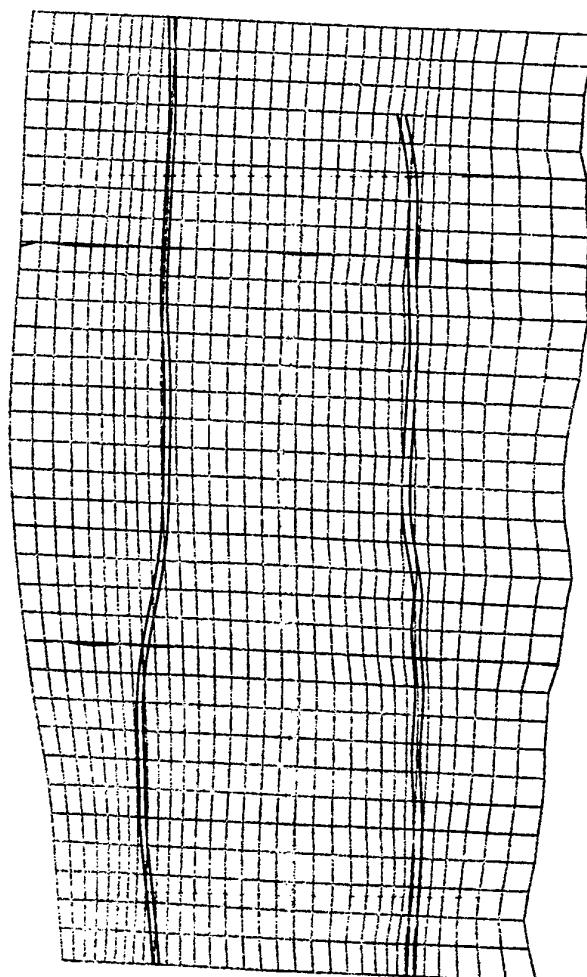
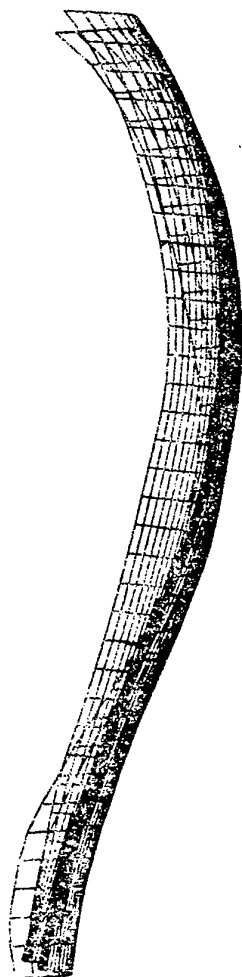
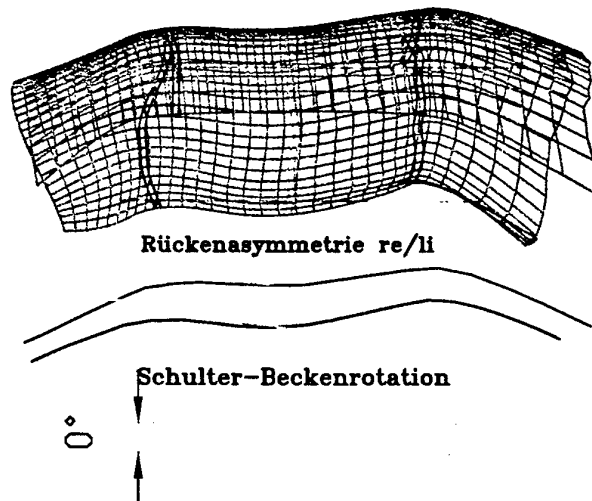
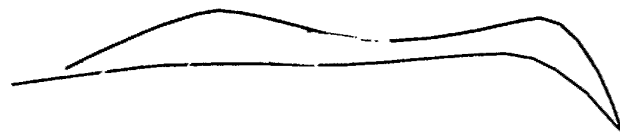


Abb. 3.6

Rückenhaltung  
bei geradem  
Beckenstand



Rückenasymmetrie re/li



Schulter-Beckenrotation

↗ 3°

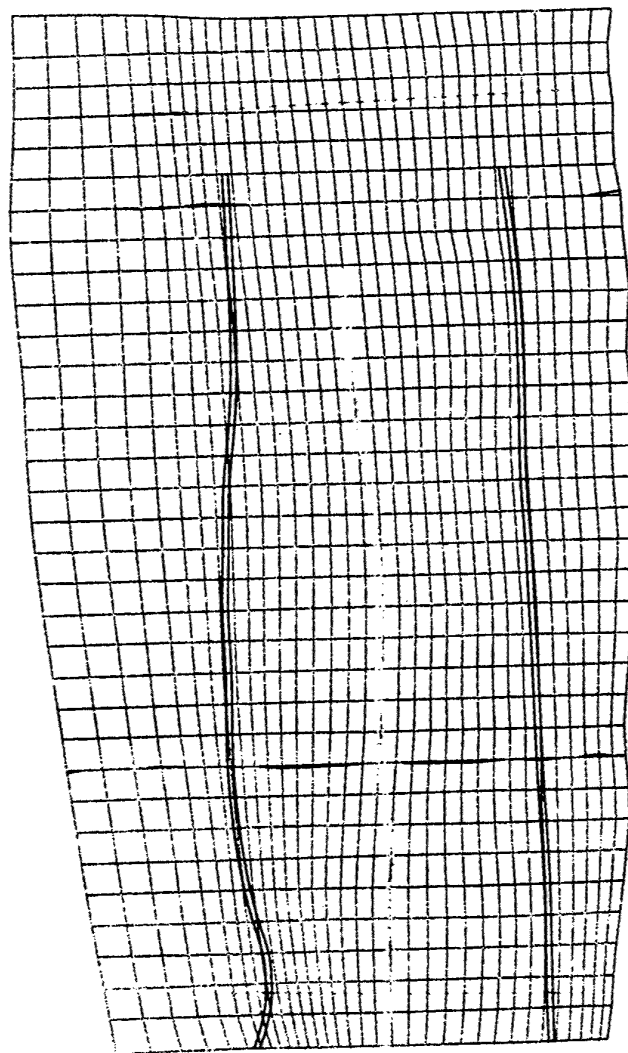
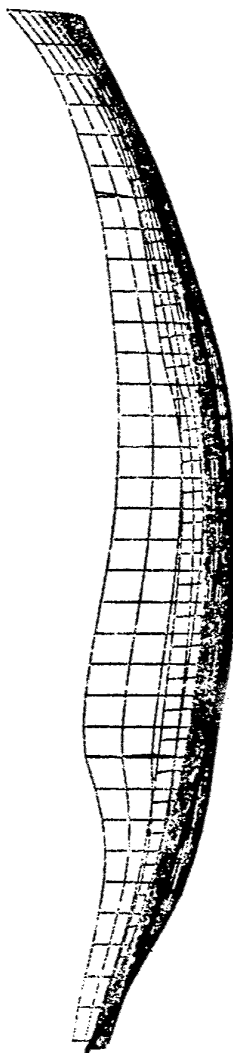


Abb. 3.7

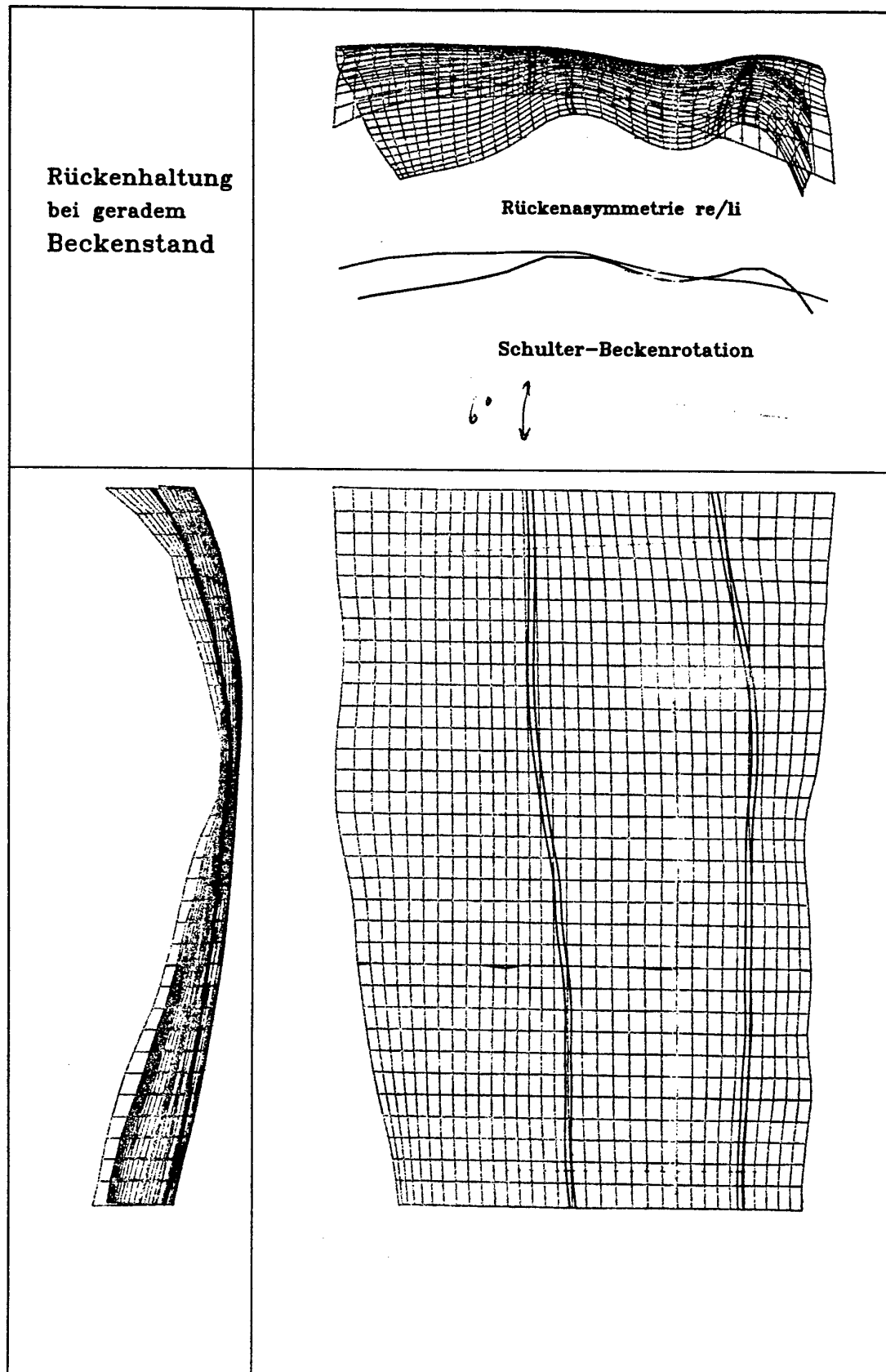
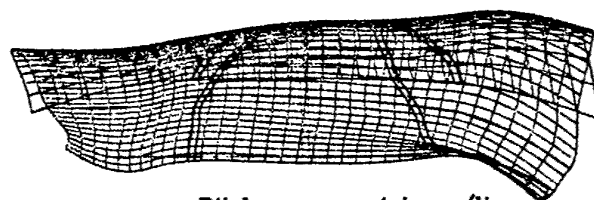
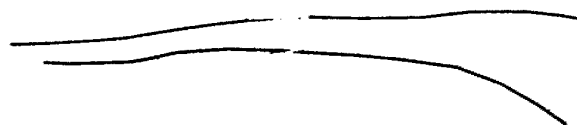


Abb. 3.8

Rückenhaltung  
bei geradem  
Beckenstand



Rückenasymmetrie re/li



Schulter-Beckenrotation

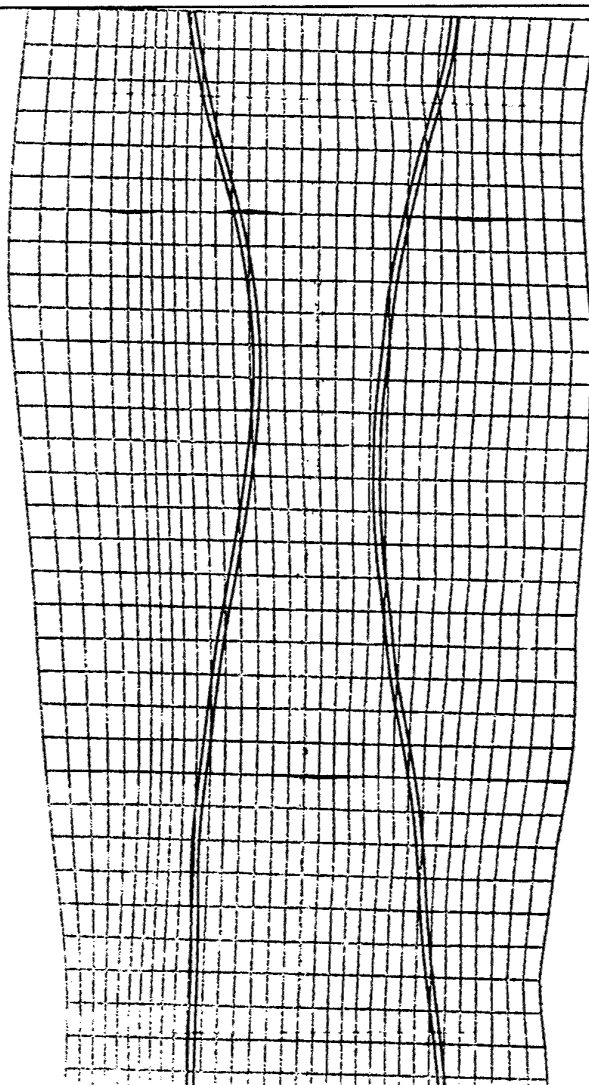
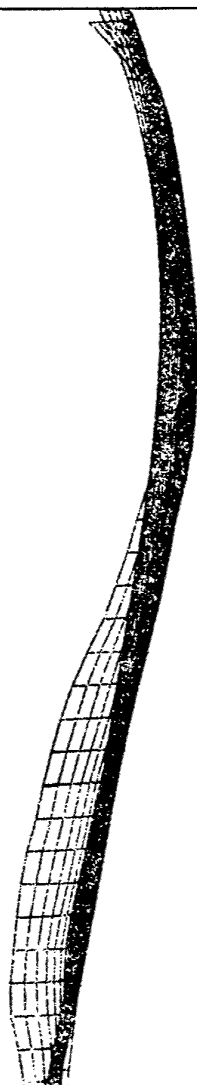


Abb. 3.9

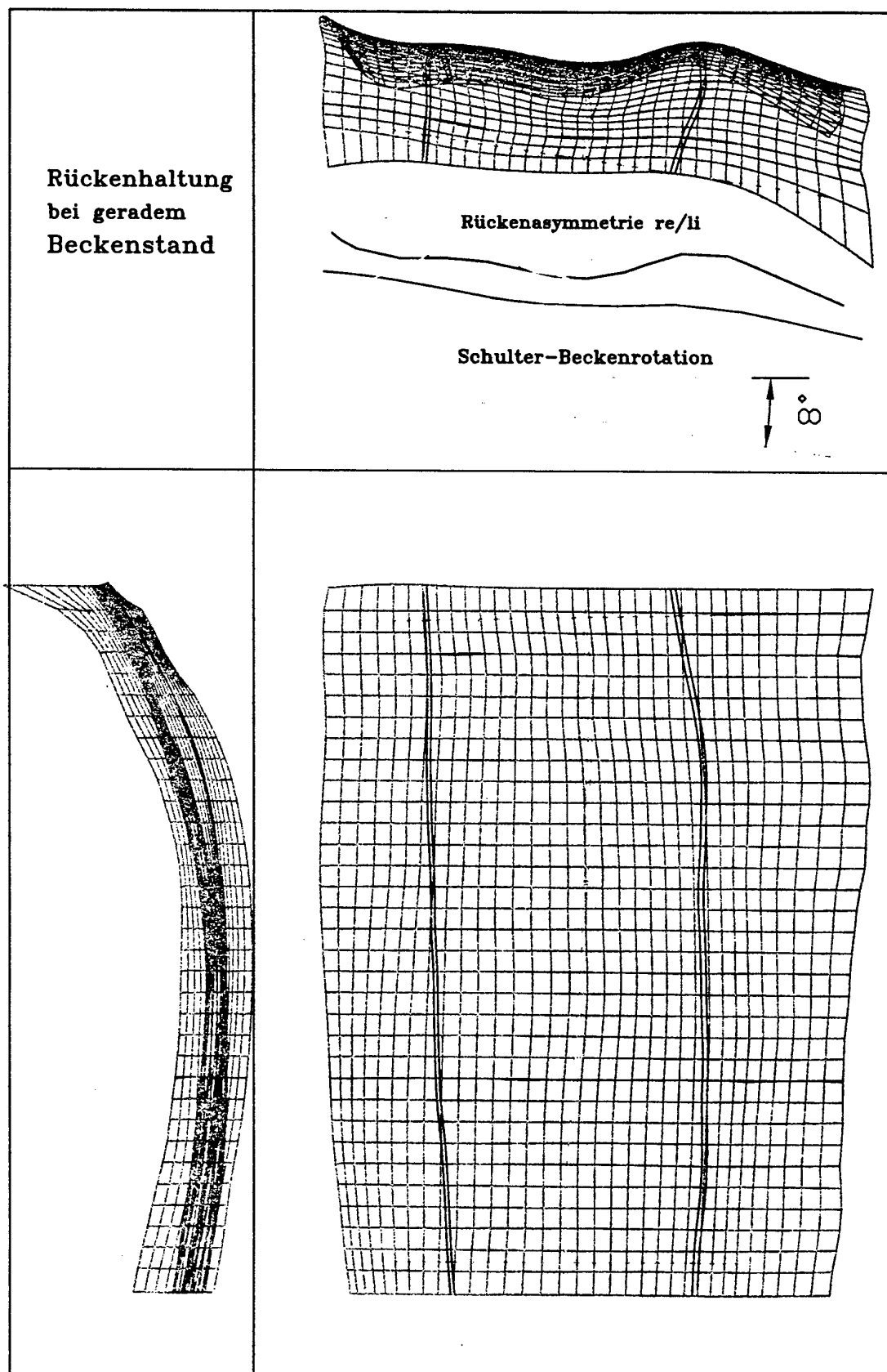


Abb. 3.10

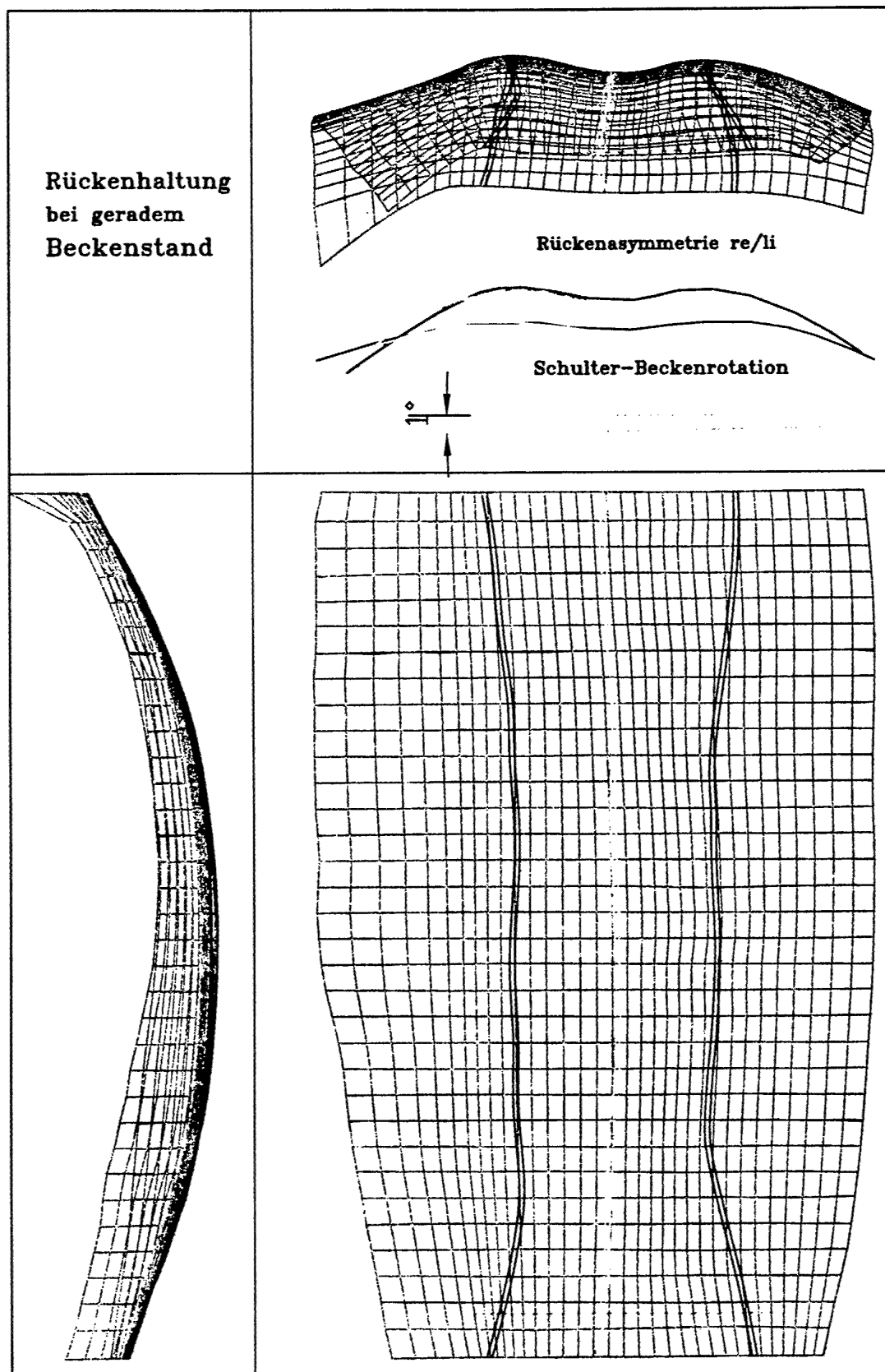




Abb. 3.11

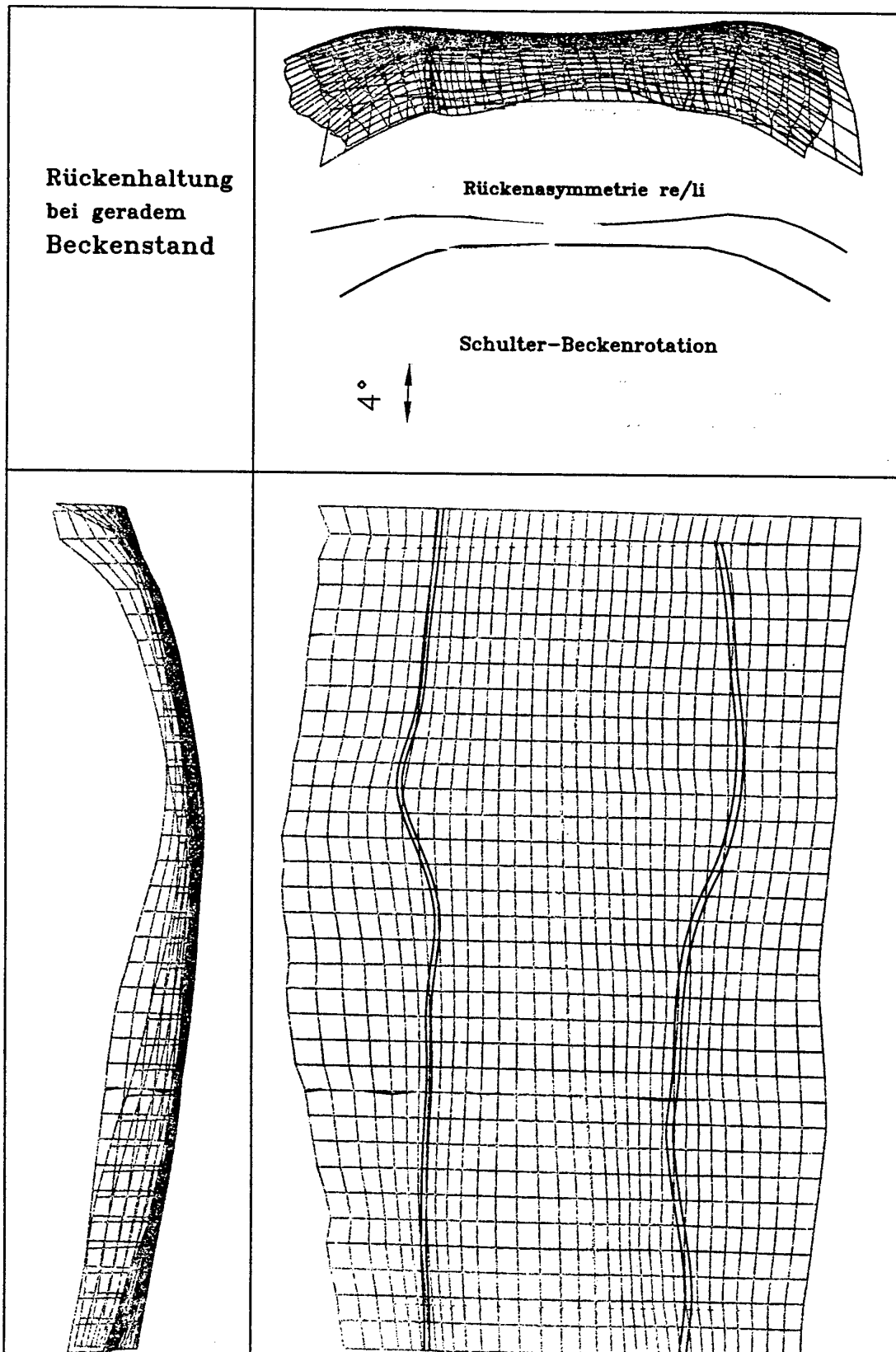
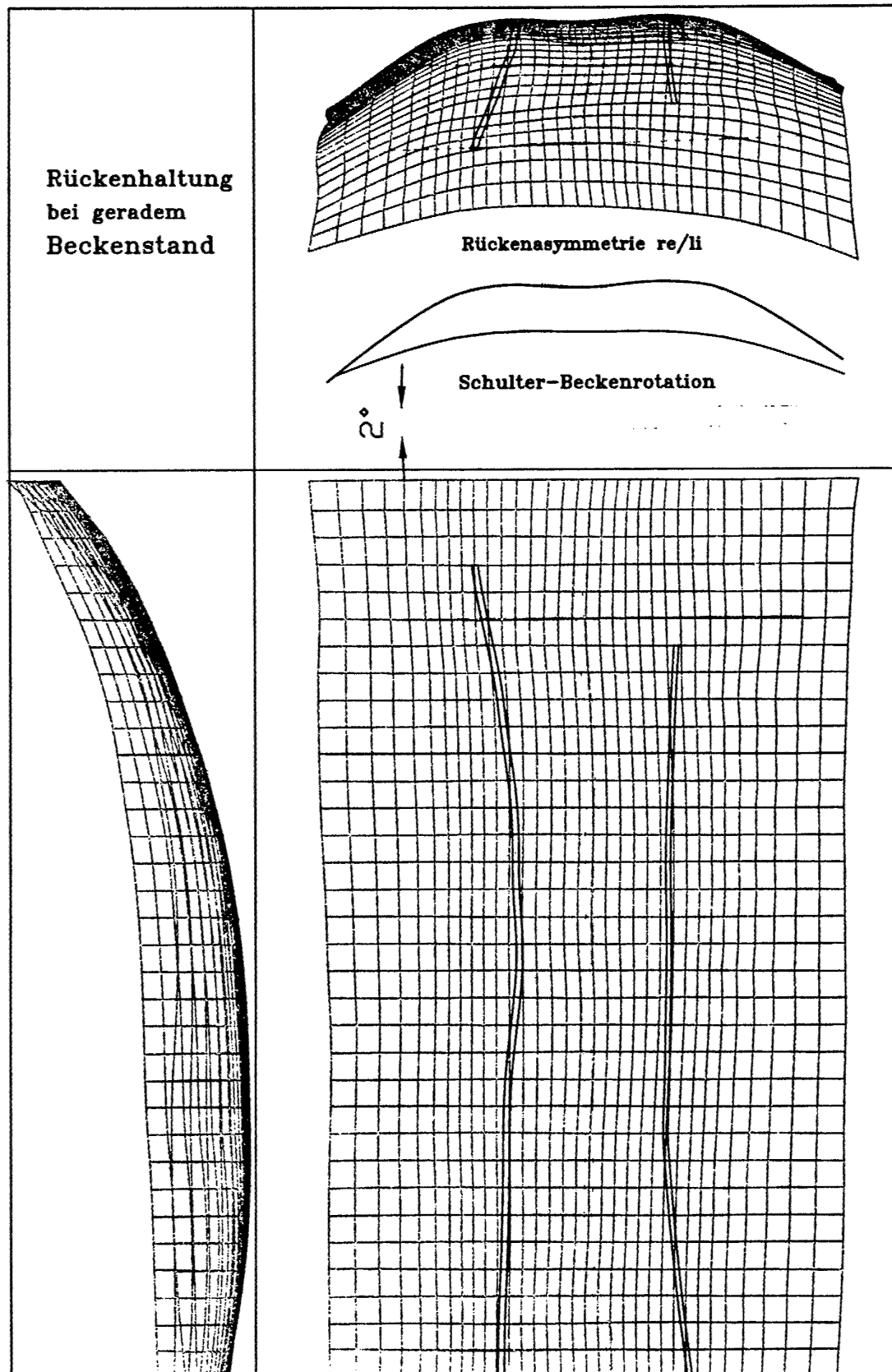


Abb. 3.12



# Altersstruktur von 300 Hubschrauberpiloten der Bundeswehr (Stand 1990)

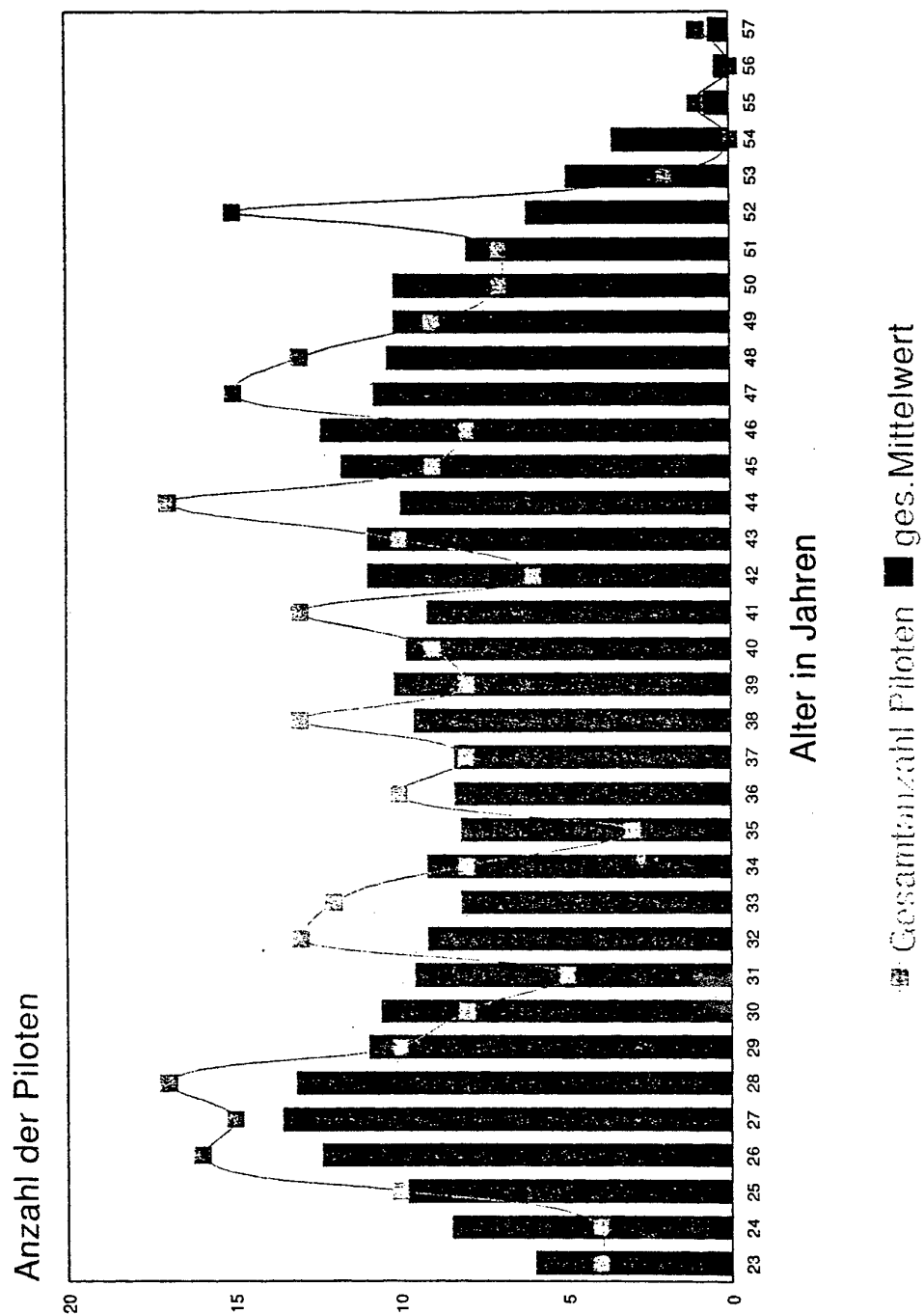


Abb. 4

# Altersstruktur von 300 Hubschrauberpiloten als Funktion der Beschwerden

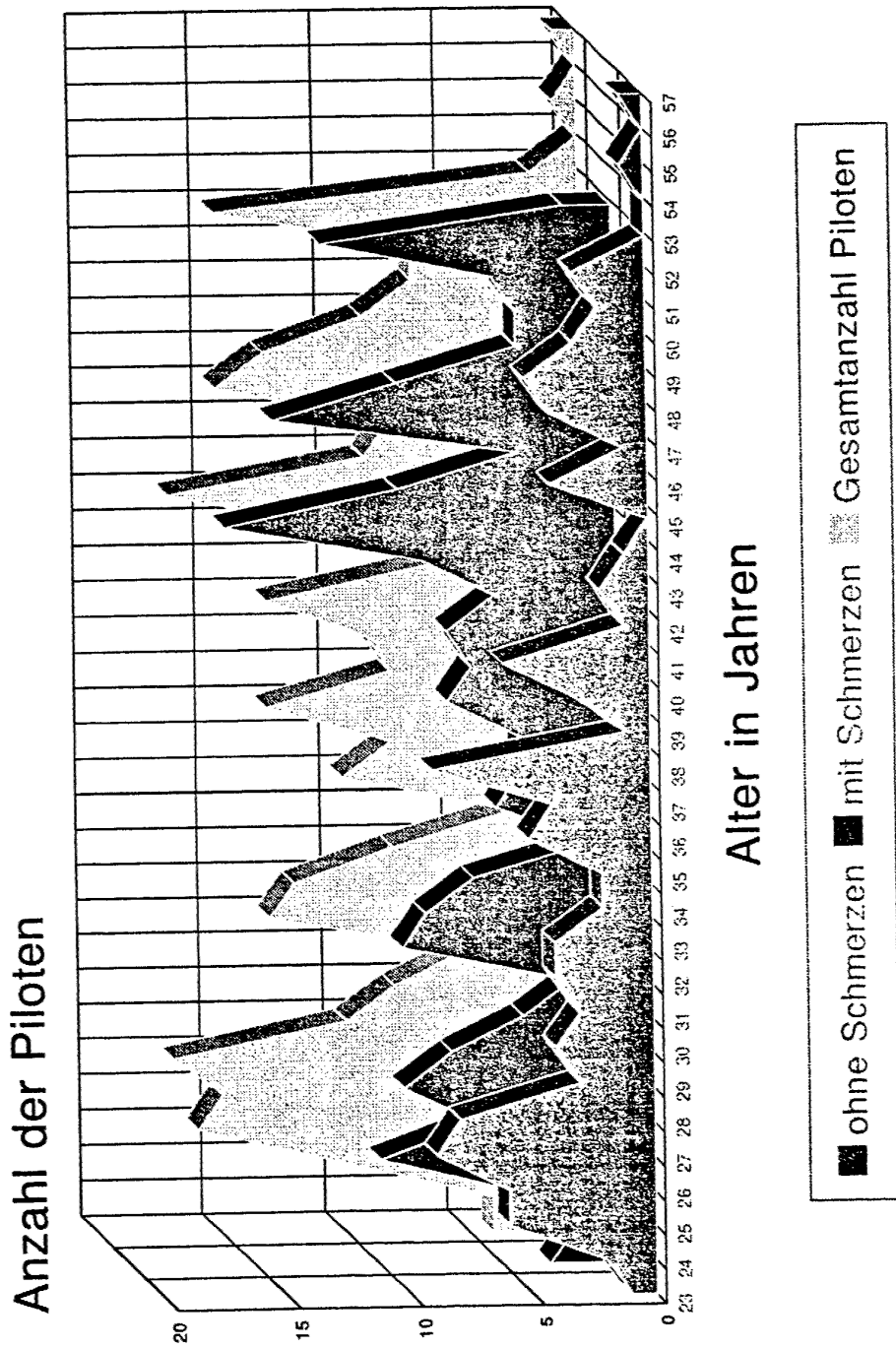


Abb. 5.1

der Bundeswehr (Stand 1990)

# Altersstruktur von 300 Hubschrauberpiloten als Funktion der Beschwerden

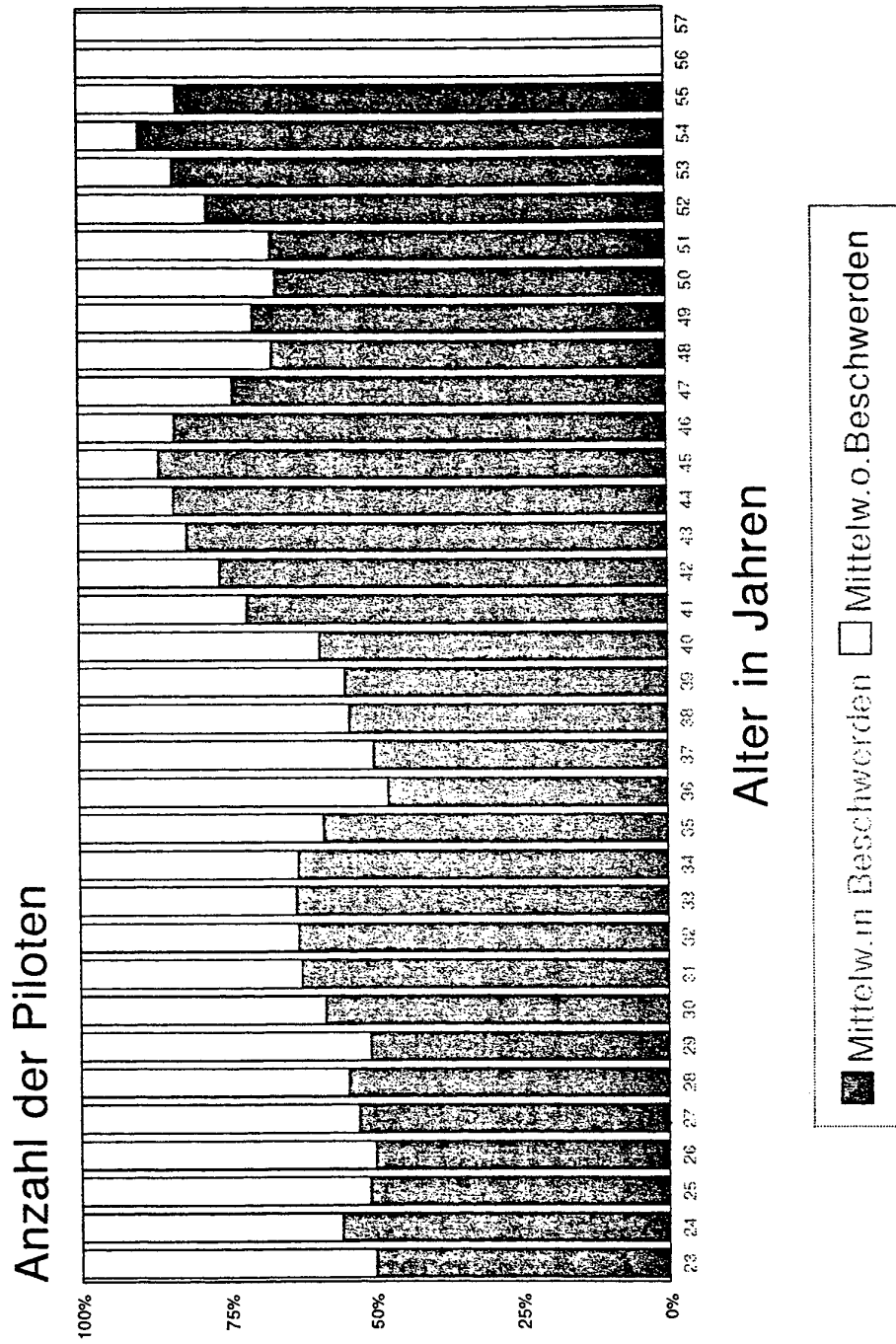


Abb. 5.2

der Bundeswehr (Stand 1990)

# flugabhängige Rückenbeschwerden bei Hubschrauberpiloten in Abhängigkeit vom Körpergewicht

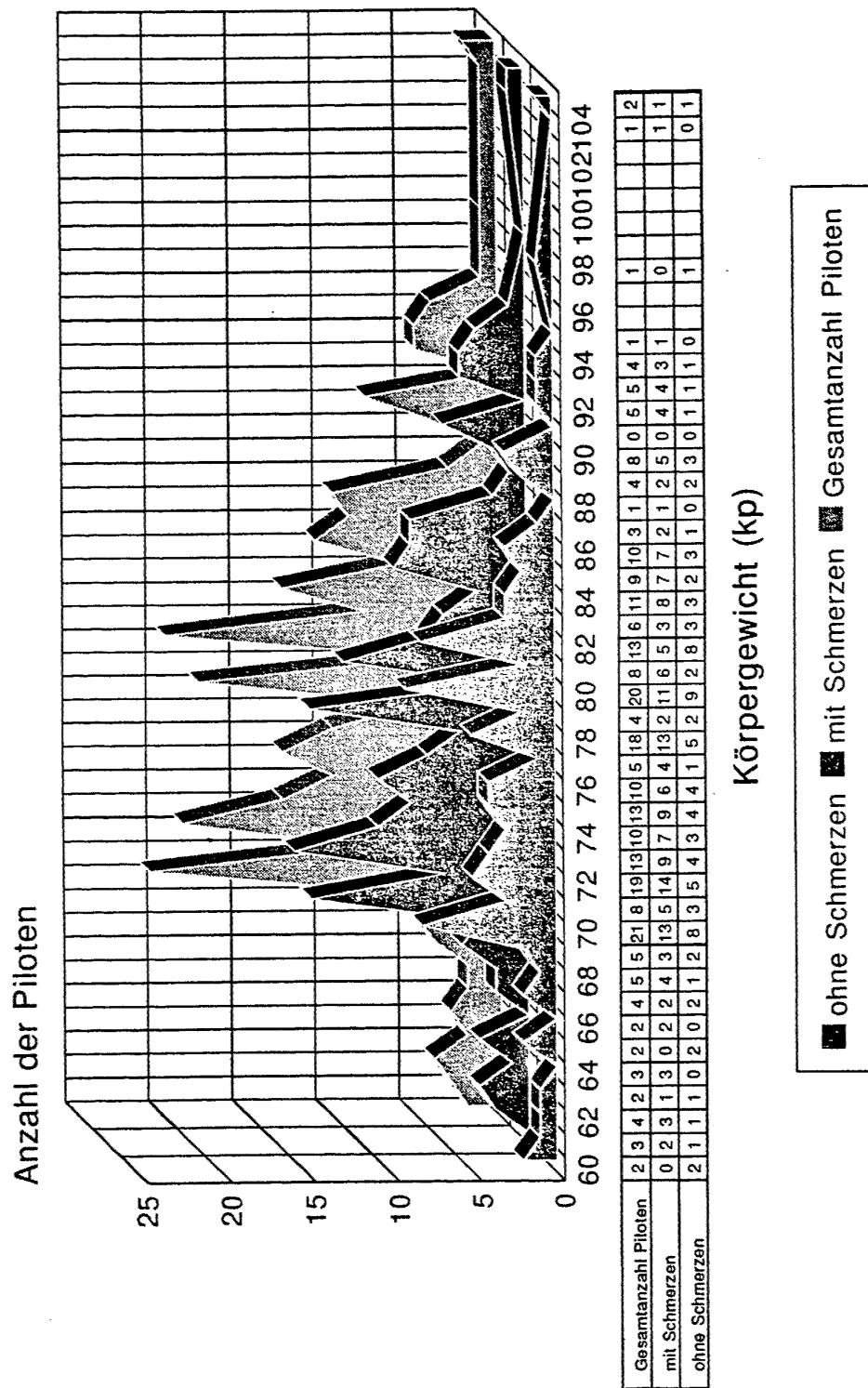


Abb. 6.1

# flugabhängige Rückenbeschwerden bei Hubschrauberpiloten in Abhängigkeit vom Körpergewicht

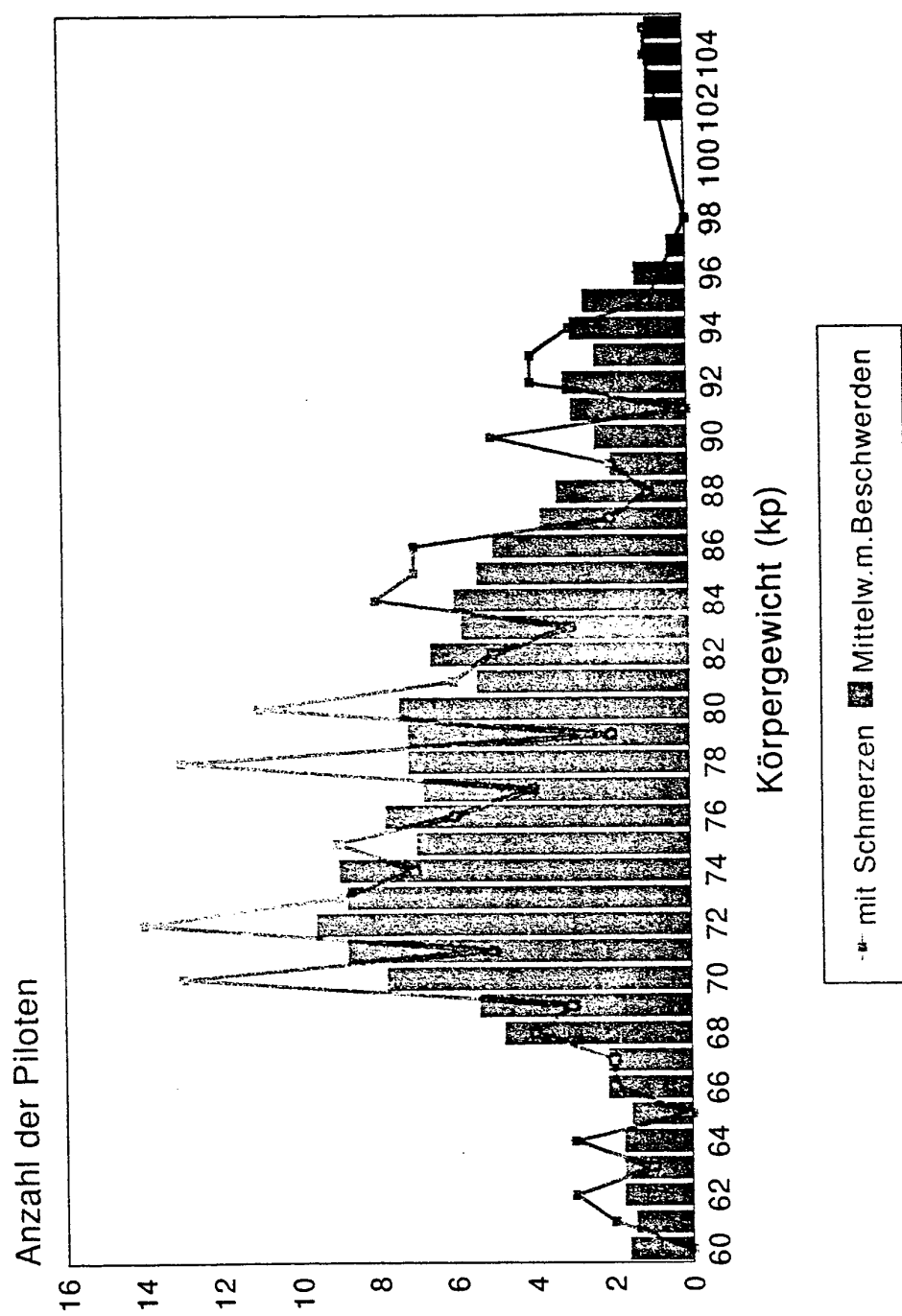


Abb. 6.2

# flugabhängige Rückenbeschwerden bei Hubschrauberpiloten in Abhängigkeit vom Körpergewicht

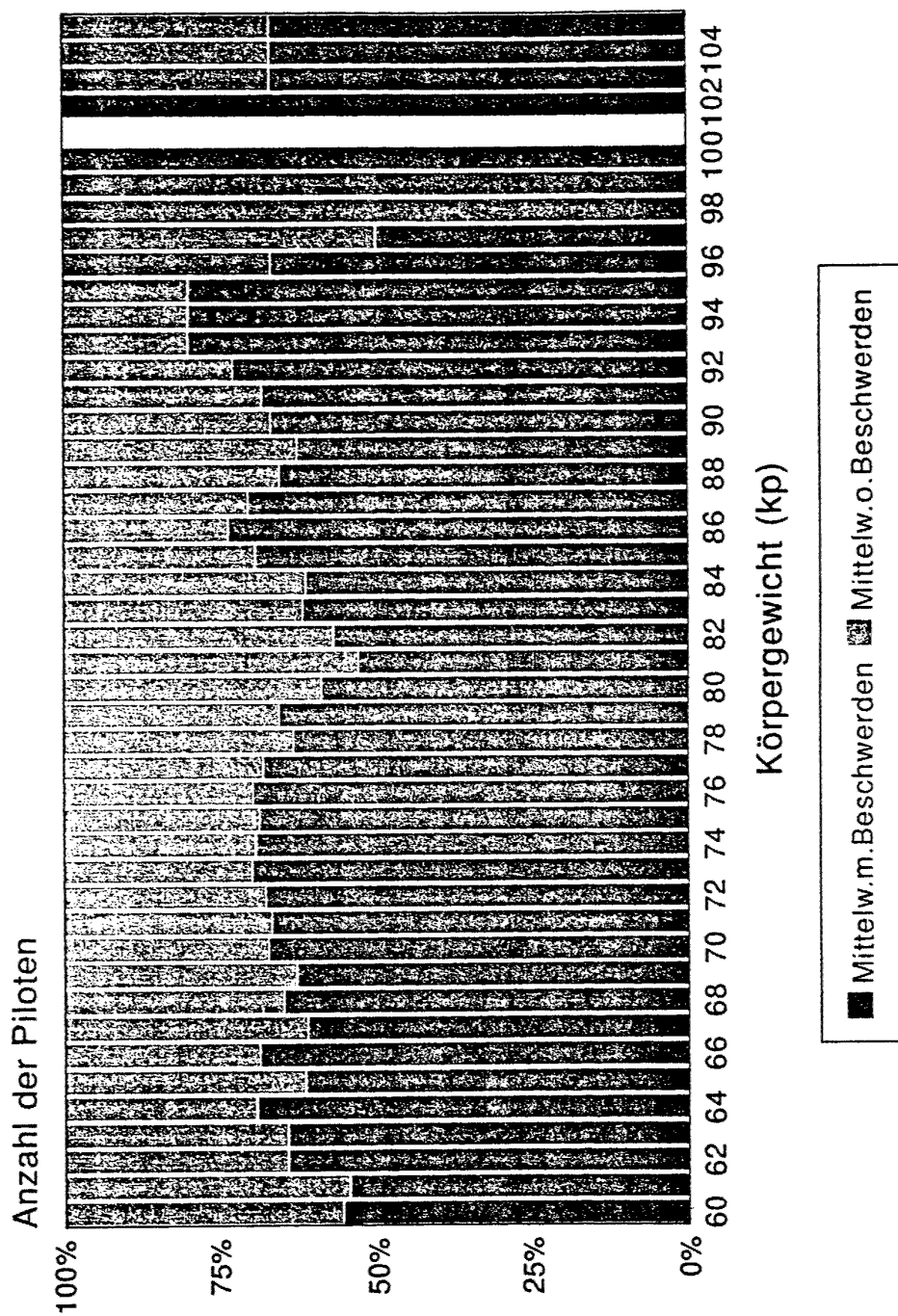


Abb. 6.3



# flugabhängige Rückenbeschwerden bei Hubschauberpiloten in Abhängigkeit von der Körpergröße

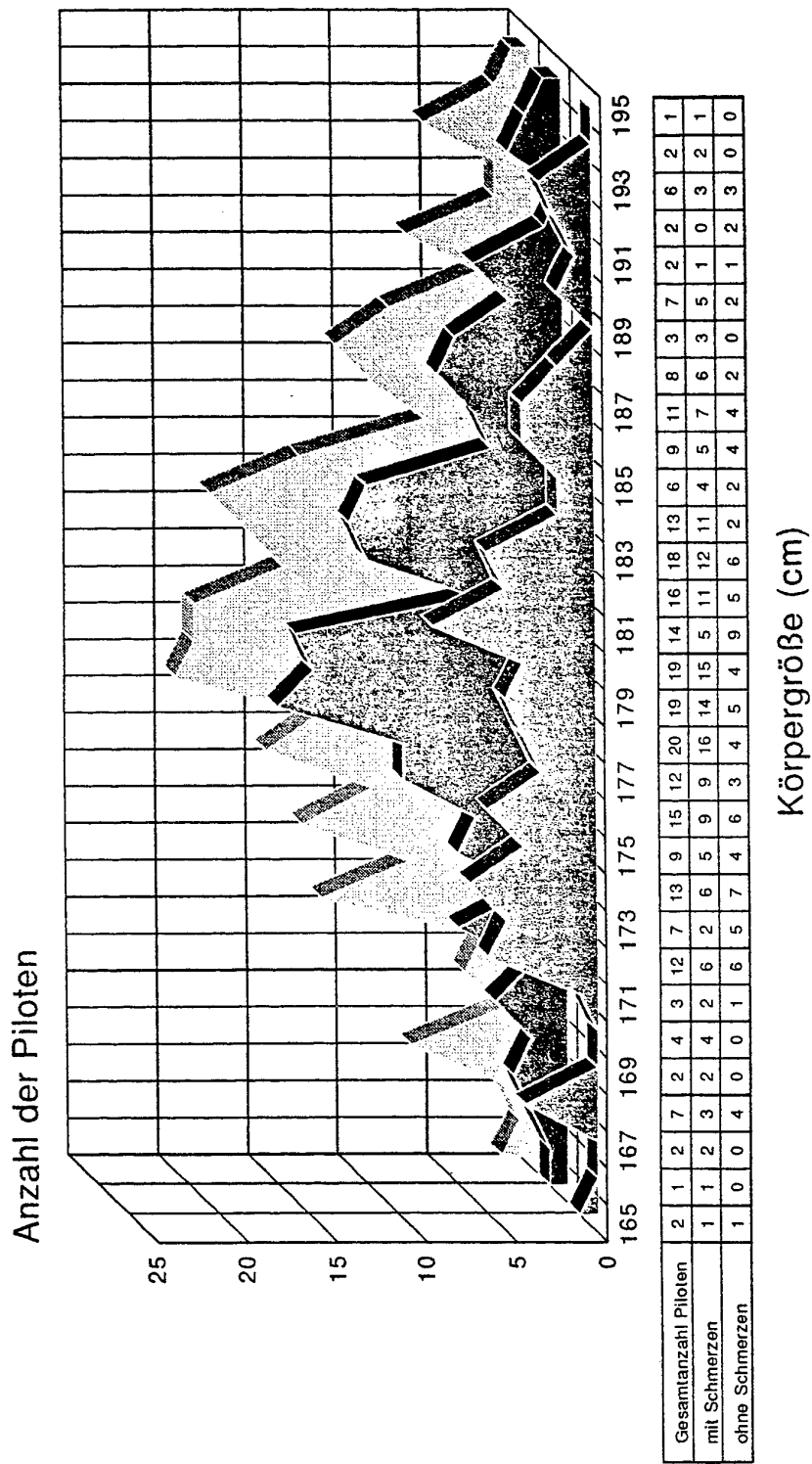


Abb. 7.1

# flugabhängige Rückenbeschwerden bei Hubschrauberpiloten in Abhängigkeit von der Körpergröße

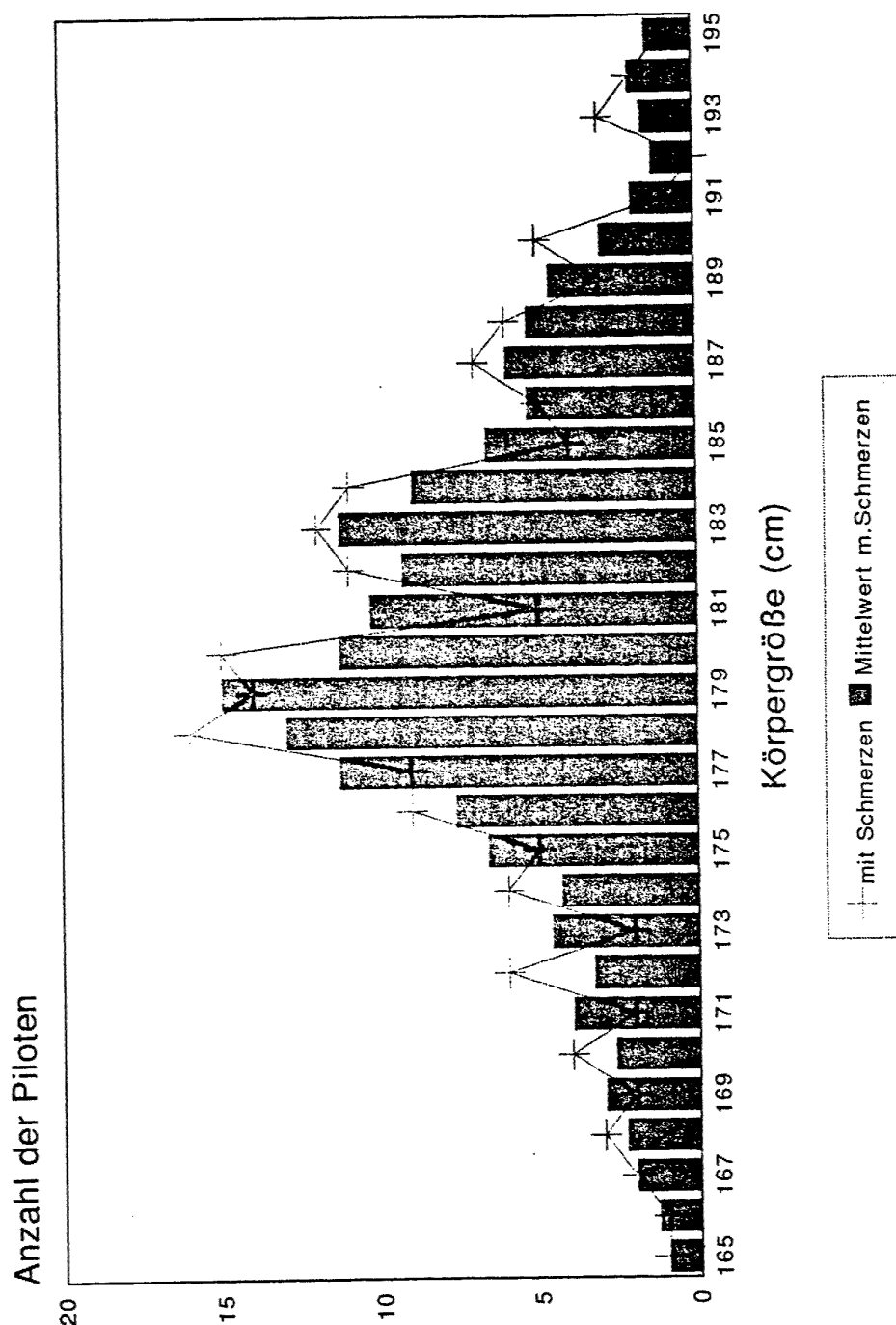


Abb. 7.2

# flugabhängige Rückenbeschwerden bei Hubschrauberpiloten in Abhängigkeit von der Körpergröße

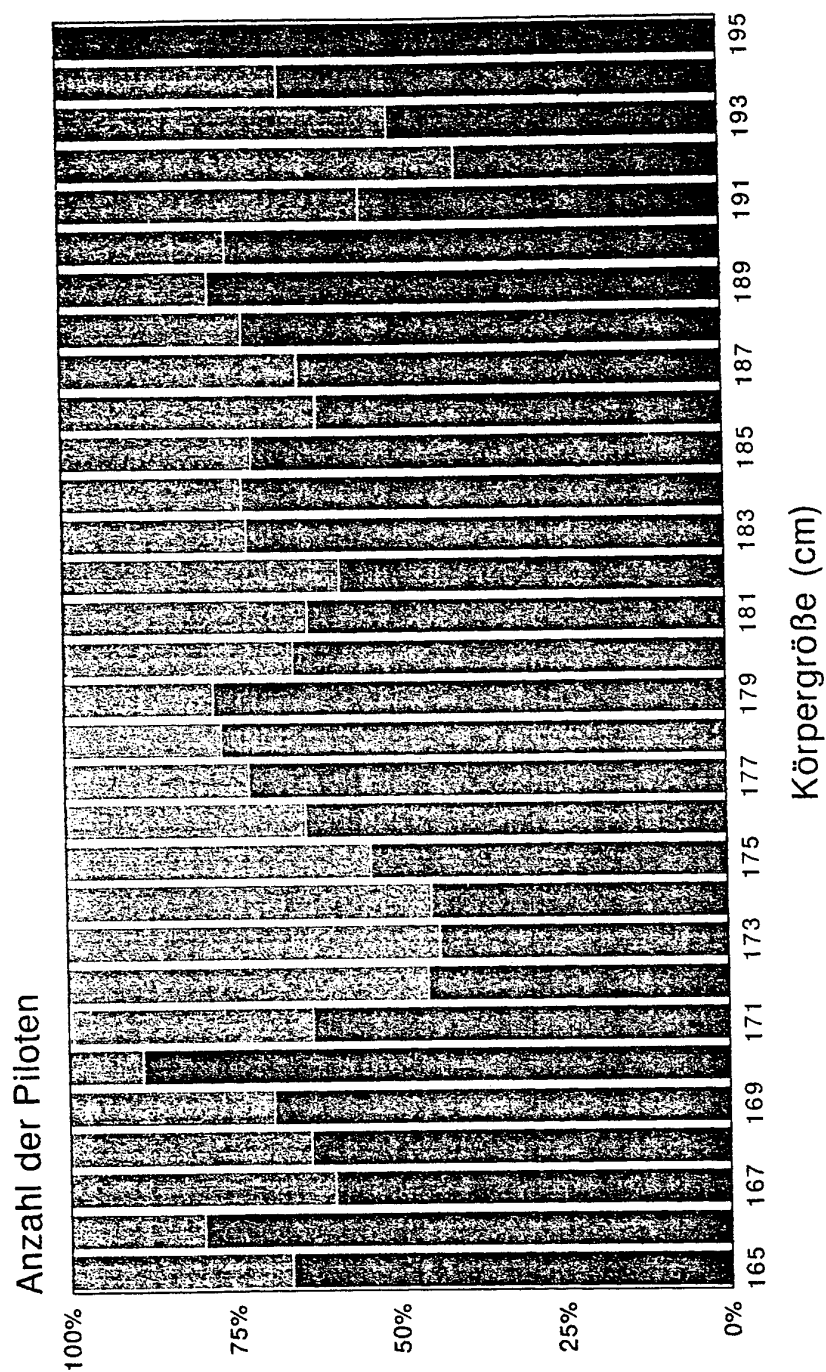


Abb. 7.3

# Größen-Gewichtsverteilung bei Hubschrauberpiloten (n=300)

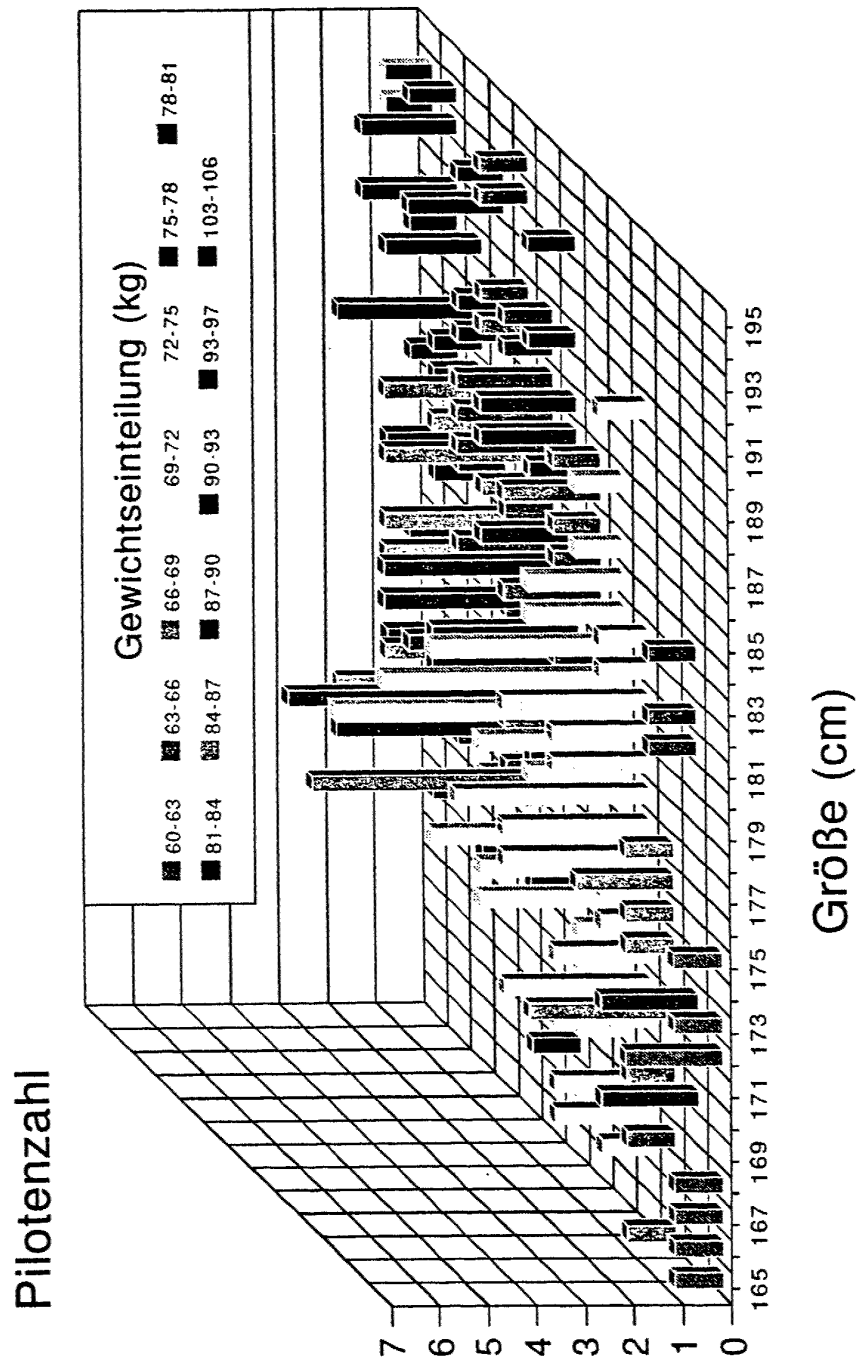


Abb. 8.1

# Größen-Gewichtsverteilung bei Hubschrauberpiloten (n=300) Mittelwerte

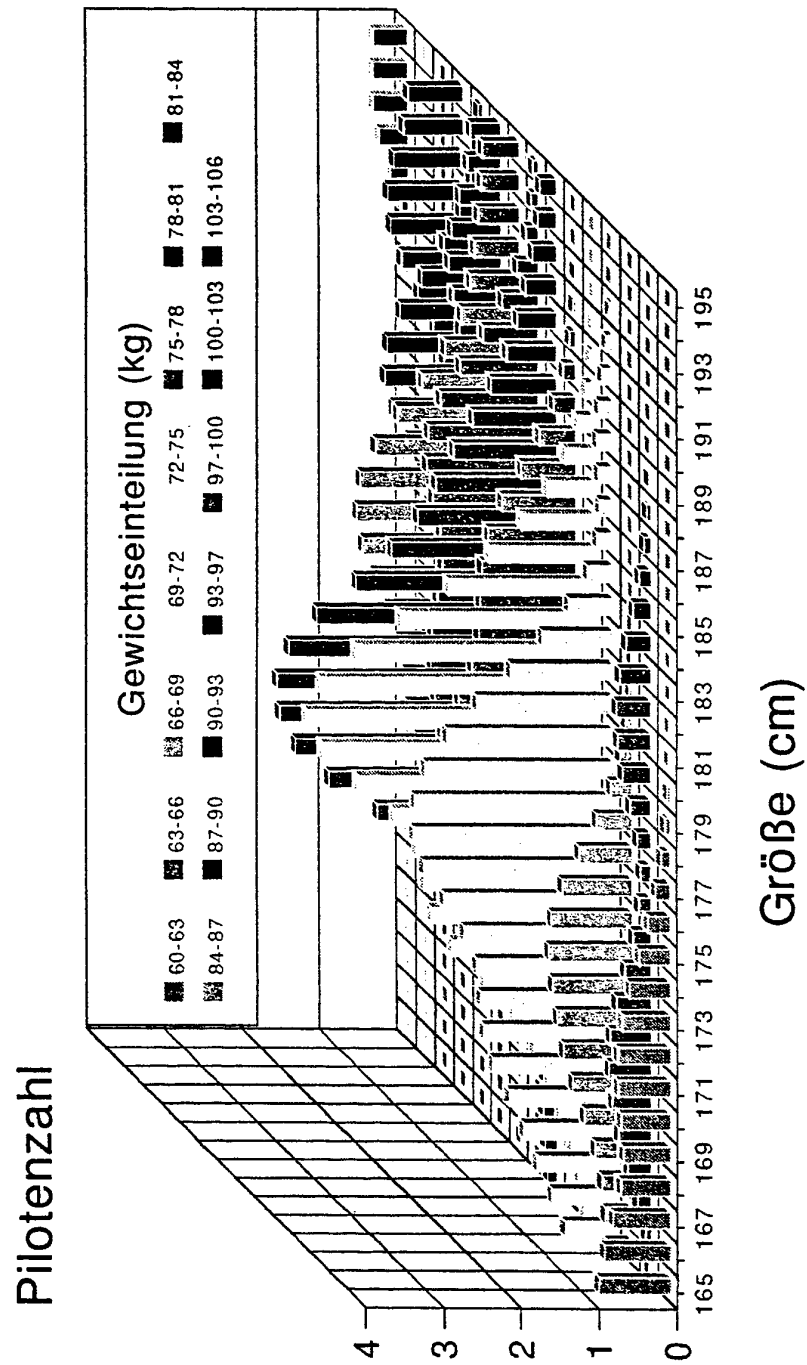


Abb. 8.2

# Größen-Gewichtsverteilung bei Hubschrauberpiloten (n=300)

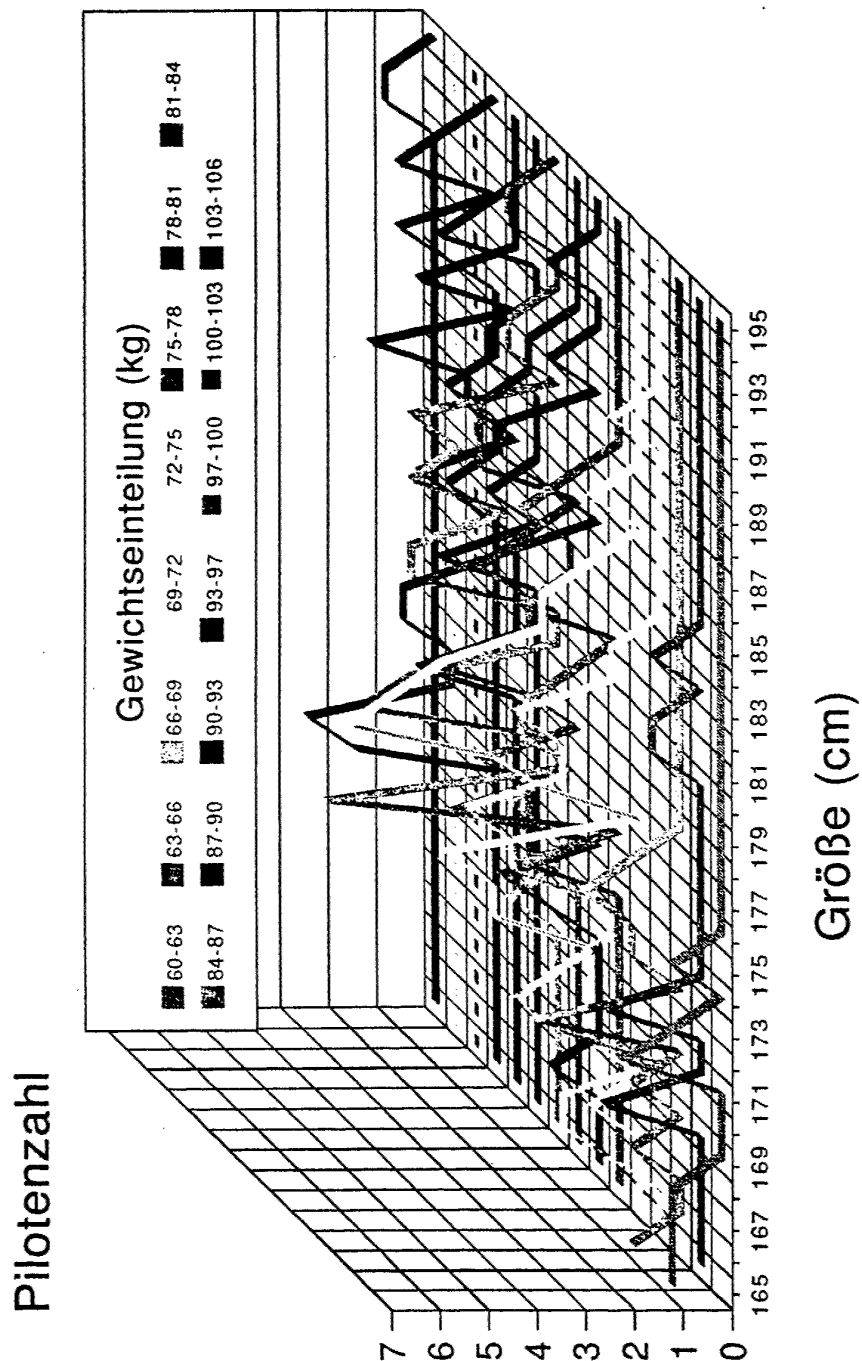


Abb. 8.3

# Größen-Gewichtsverteilung bei Hubschrauberpiloten (n=300) Mittelwerte

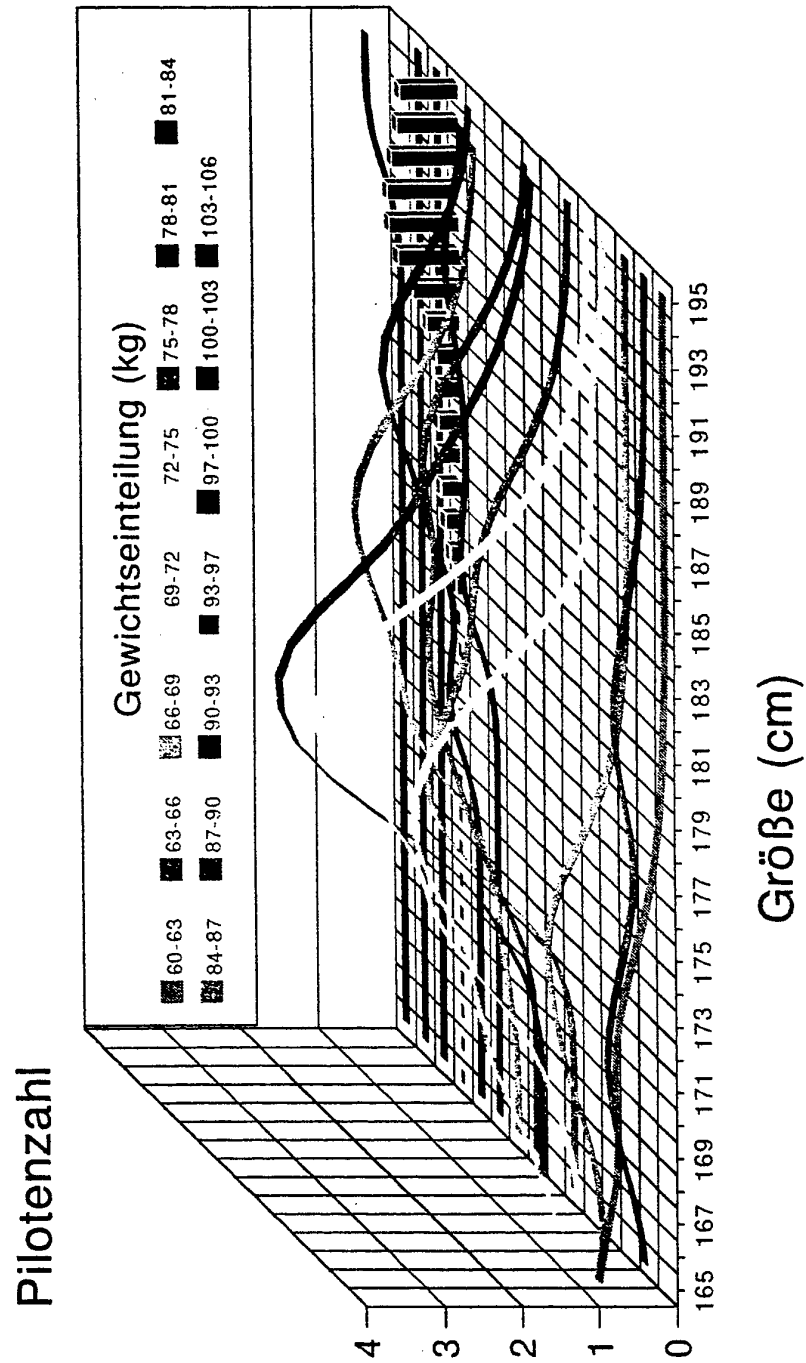


Abb. 8.4

# flugabhängige Beschwerden in Bezug zur Körperregion n (Gesamt) = 197

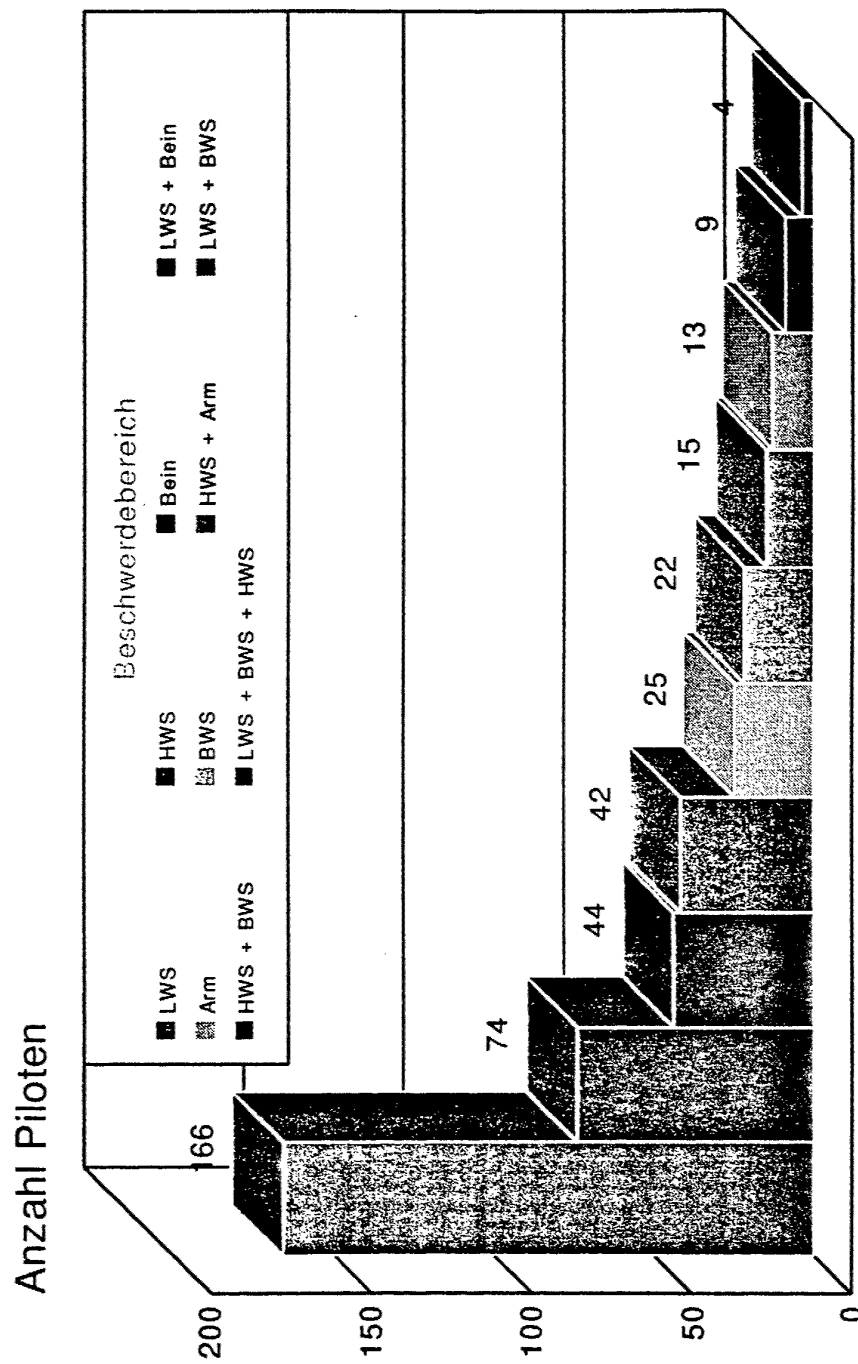


Abb. 9.1



flugabhängige Beschwerden  
in Bezug zur Körperregion  
n (Gesamt) = 197

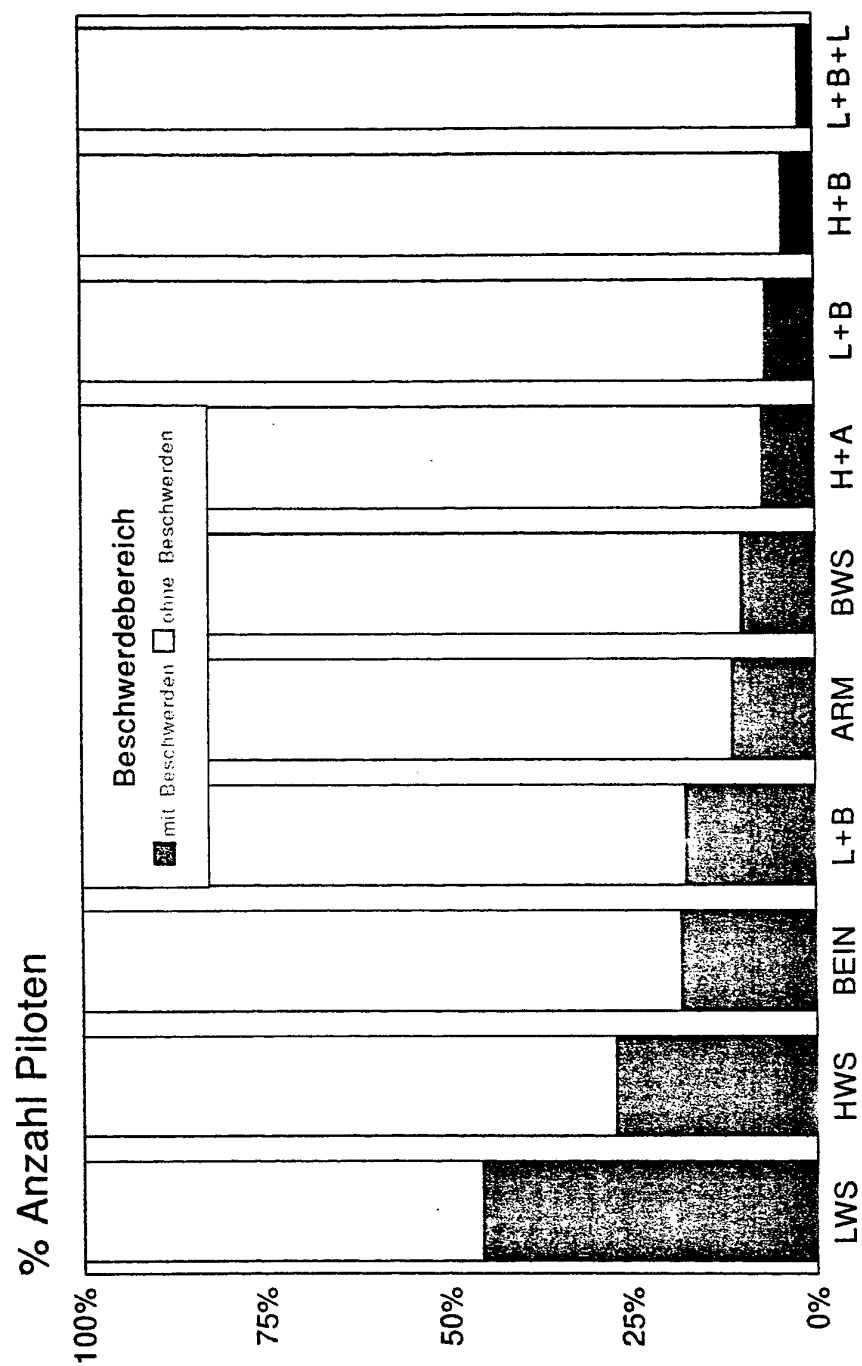


Abb. 9.2

# Flugabhängige Schmerzen

## In Abhängigkeit vom Hubschraubertyp

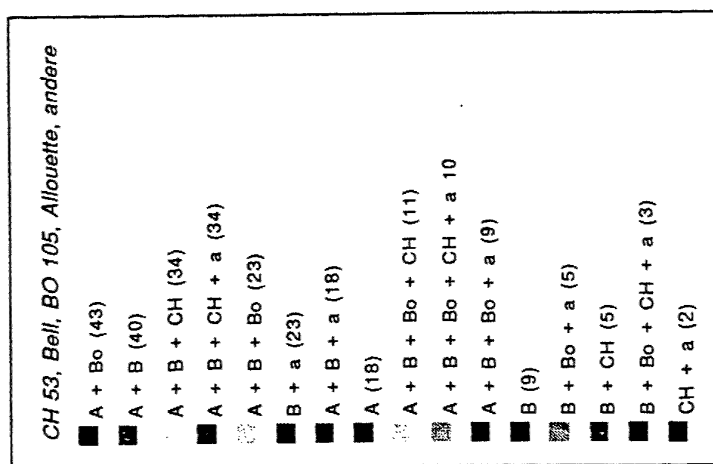
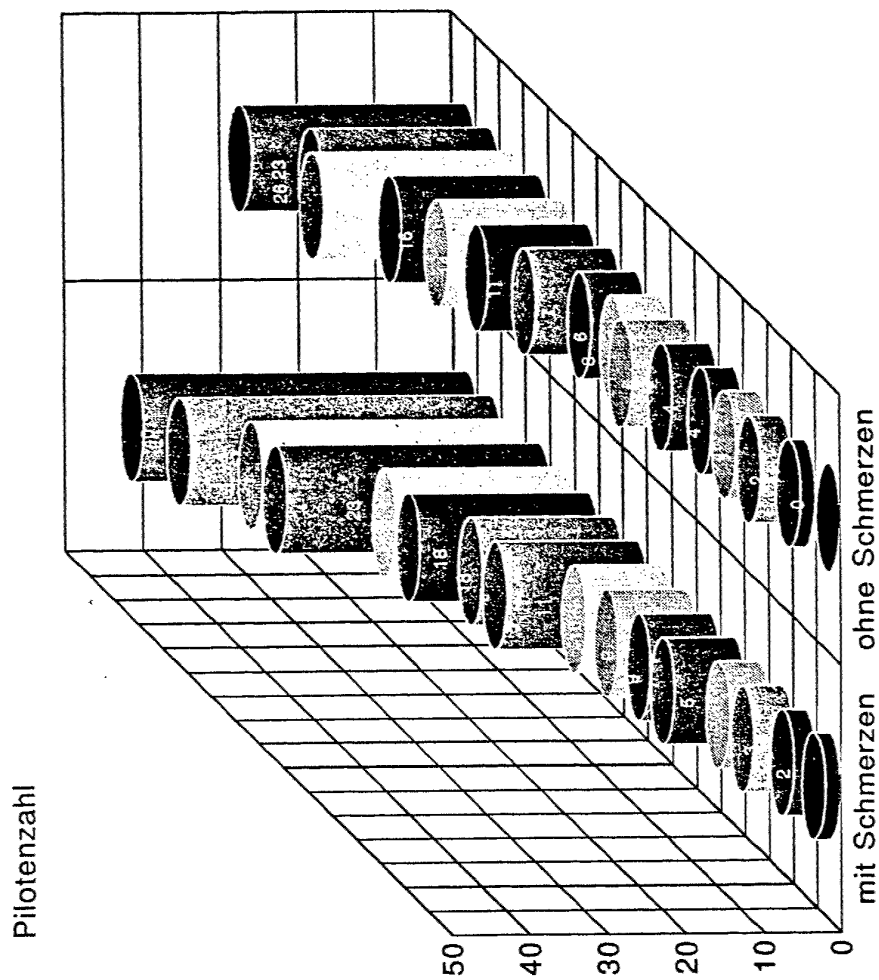


Abb. 10

# Gewichtseinschätzung Rückenbeschwerden Hubschrauberpiloten (n = 260)

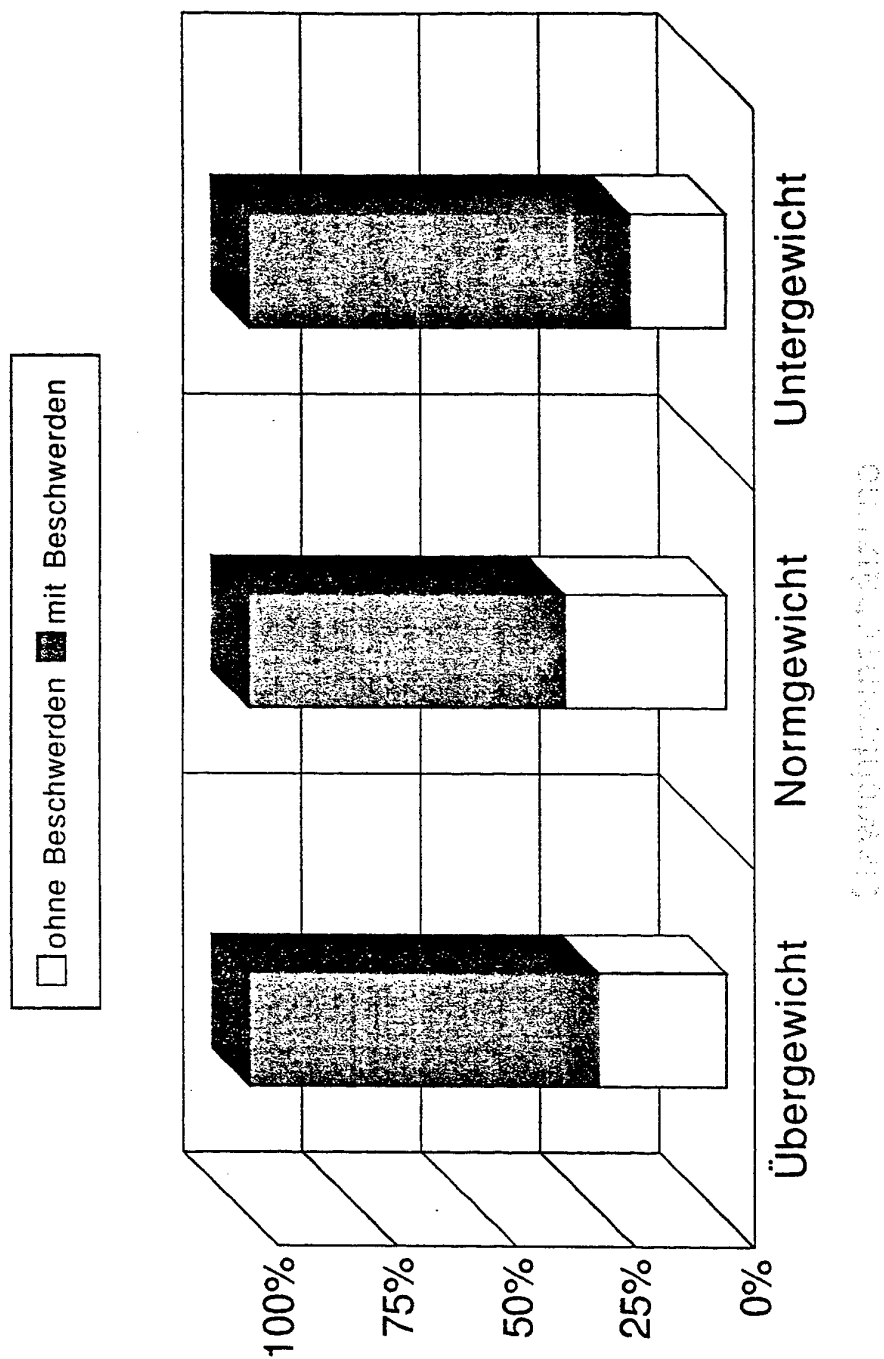


Abb. 11

# Fitnesseinschätzung Rückenbeschwerden Hubschrauberpiloten (n = 289)

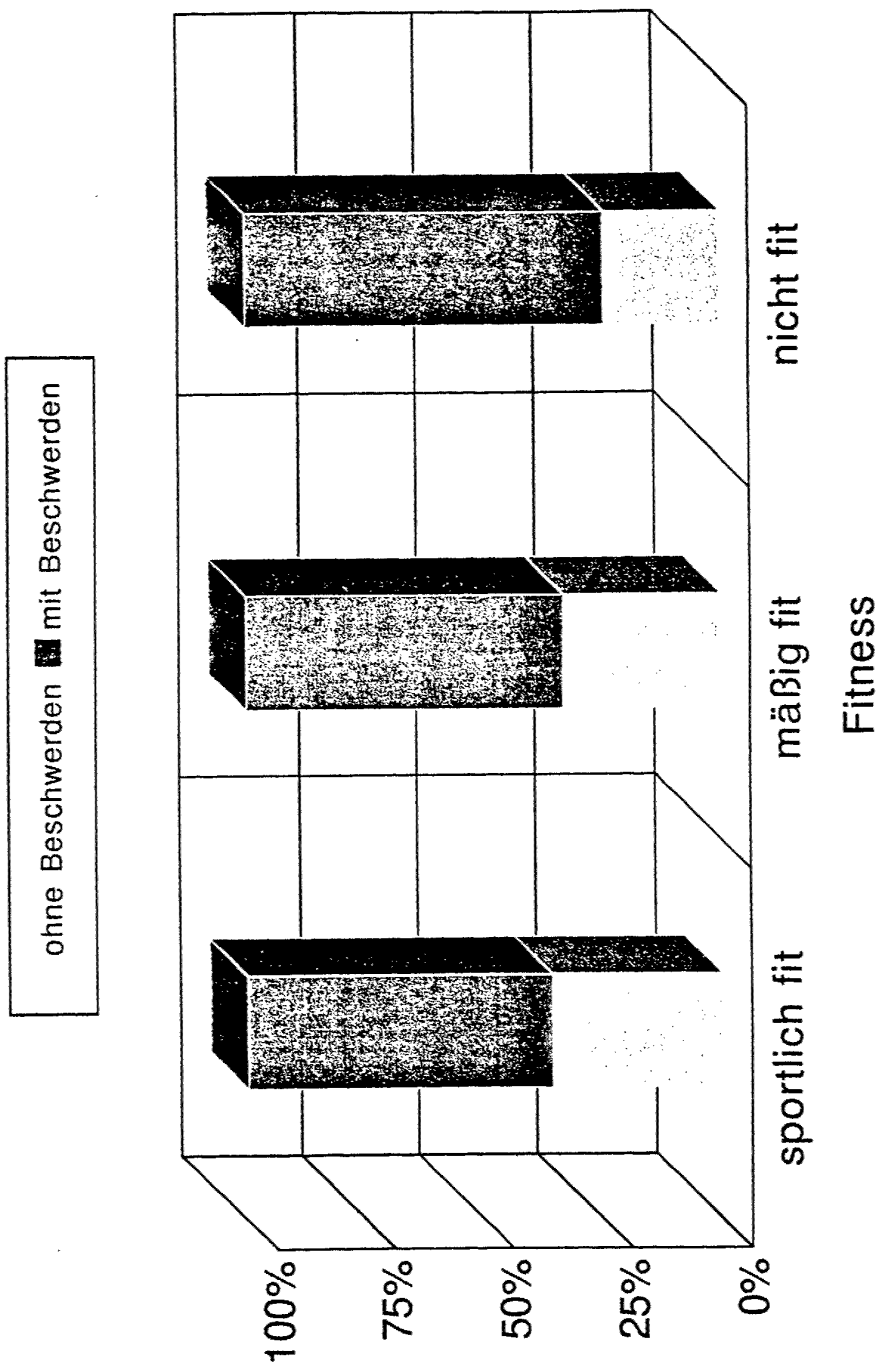


Abb. 12

# Einschätzung zu Belastbarkeit

## Rückenbeschwerden

### Hubschrauberpiloten (n = 290)

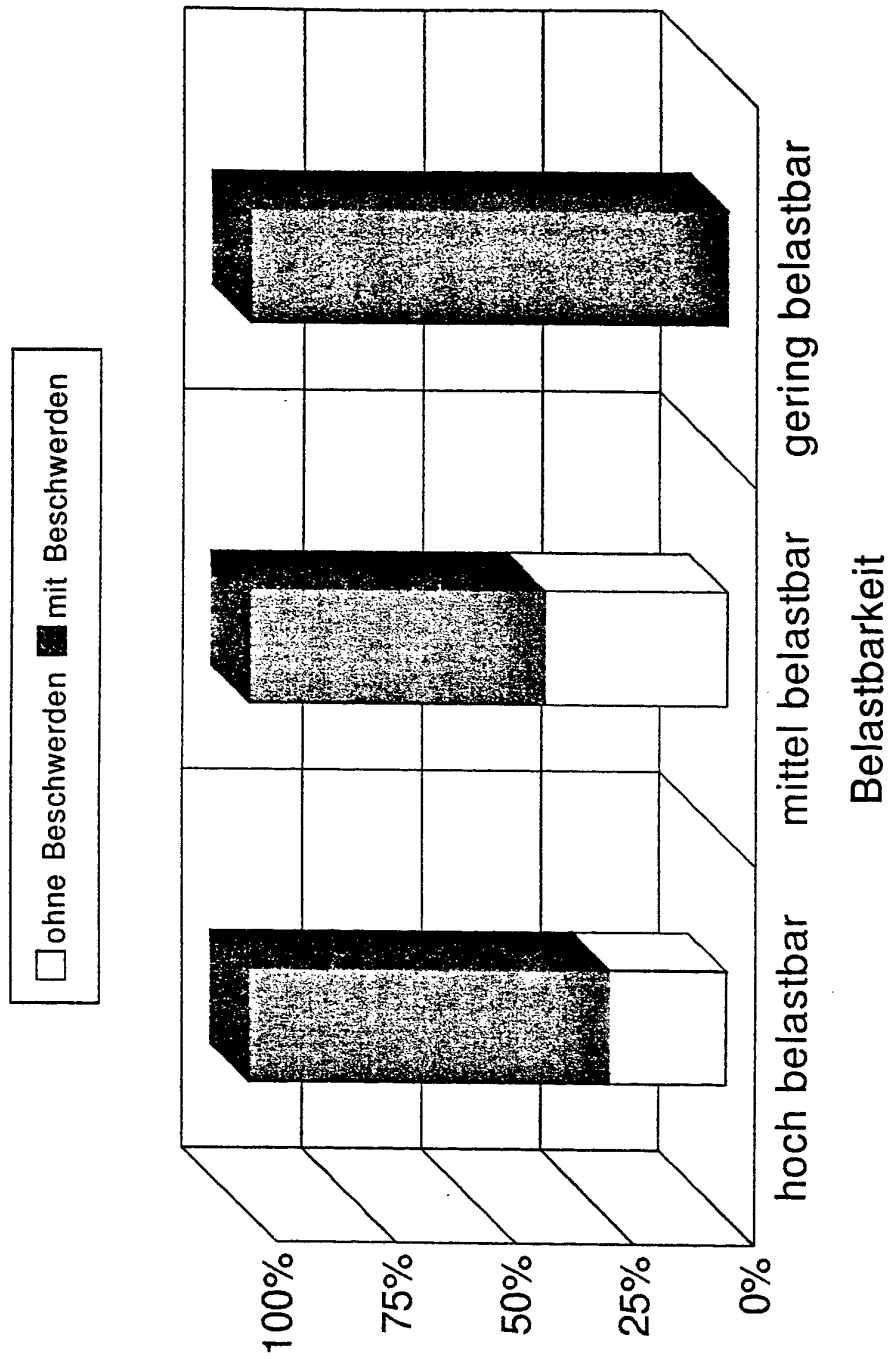


Abb. 13

# Fitness und Belastbarkeit

## Rückenbeschwerden

### Hubschrauberpiloten (n = 178)

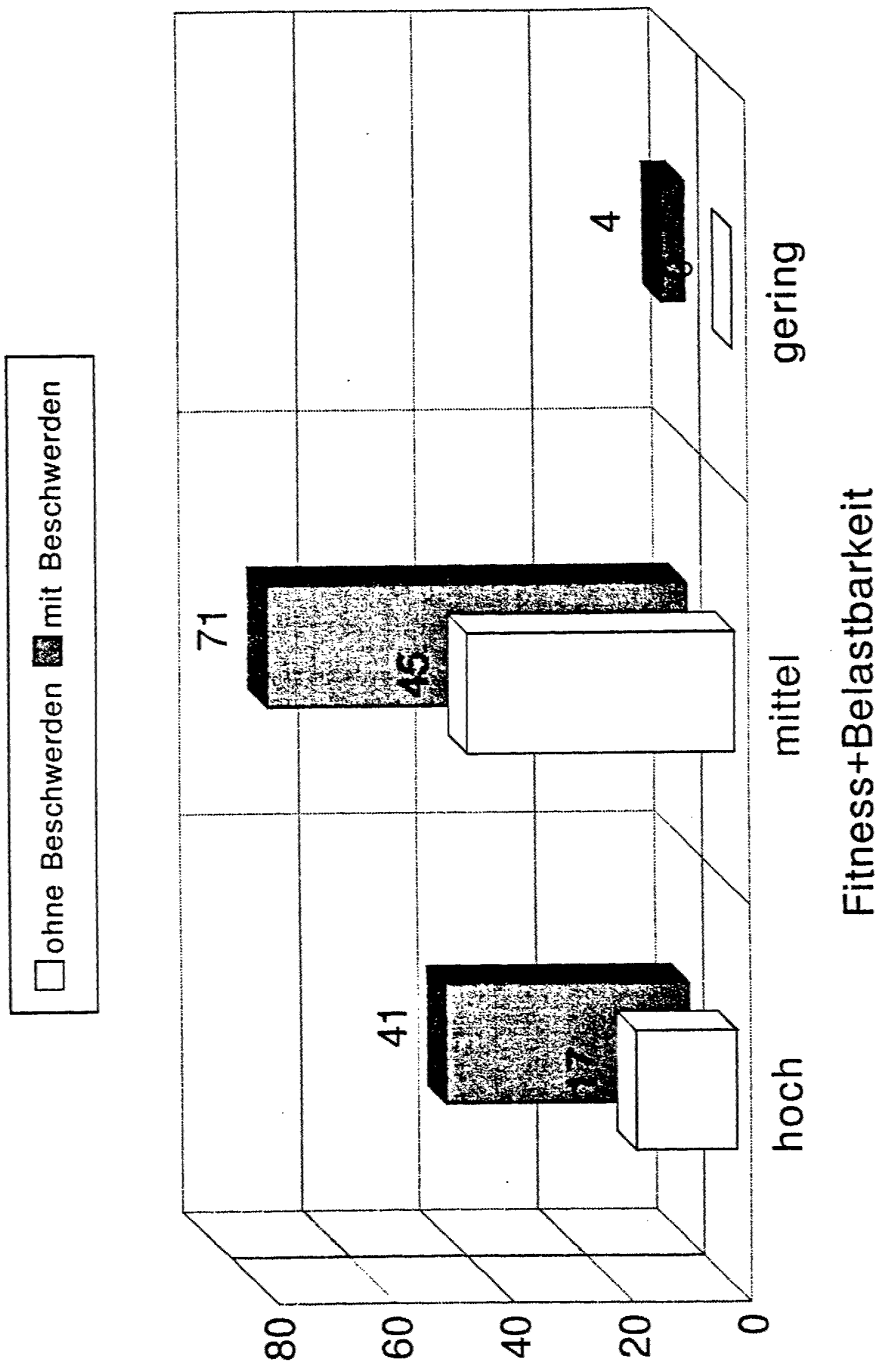


Abb. 14

Abb. 15

PILOTENSITZ (PERSPEKTIVE)

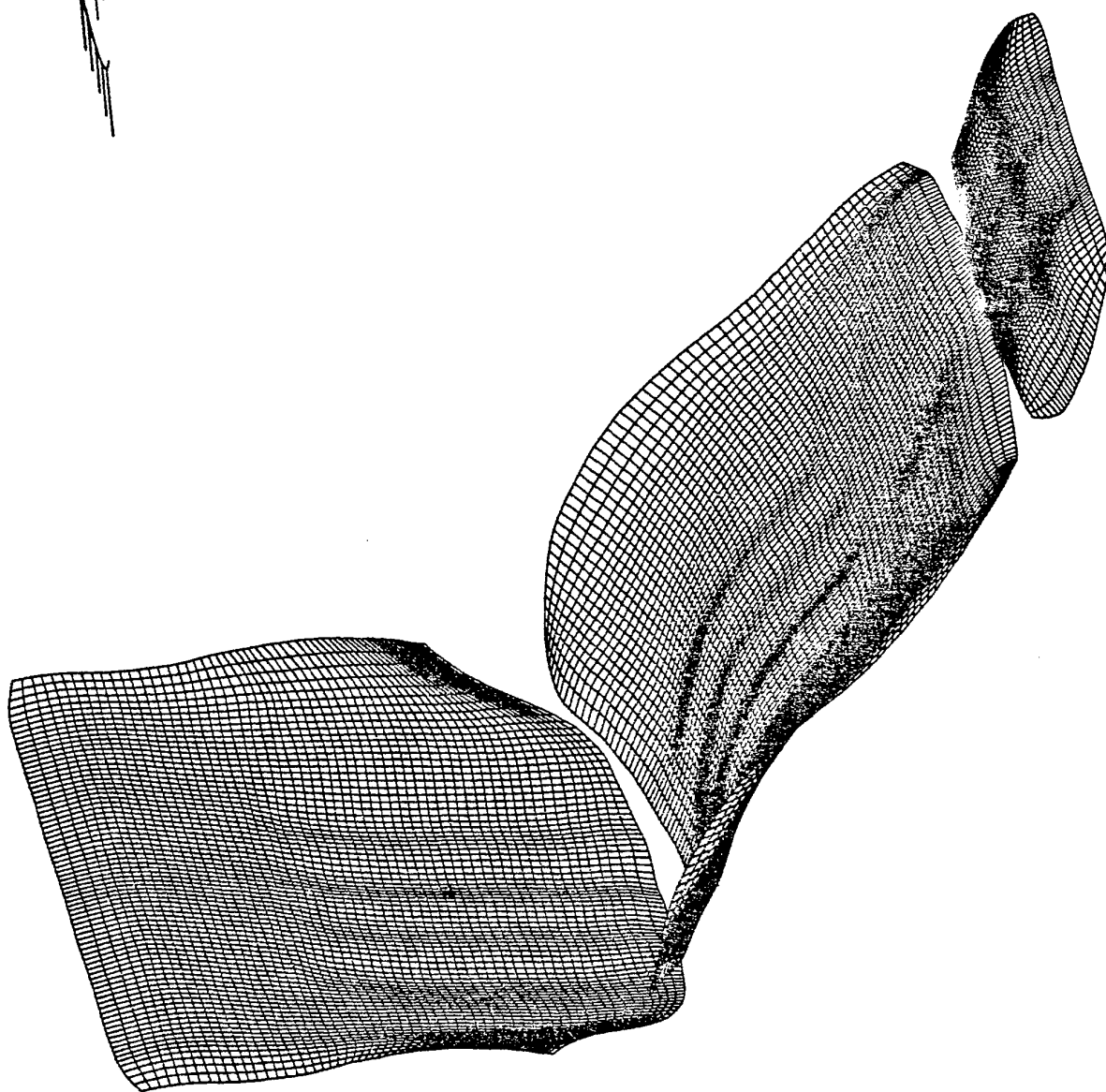


Abb. 16.1

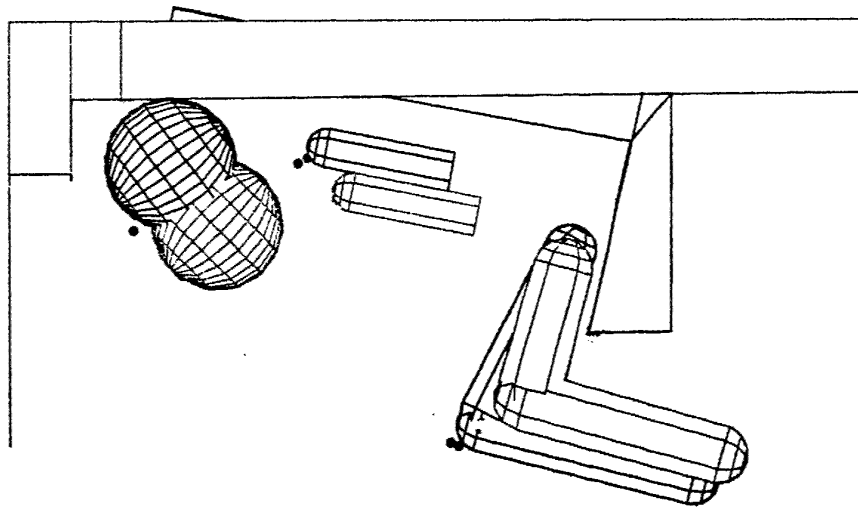
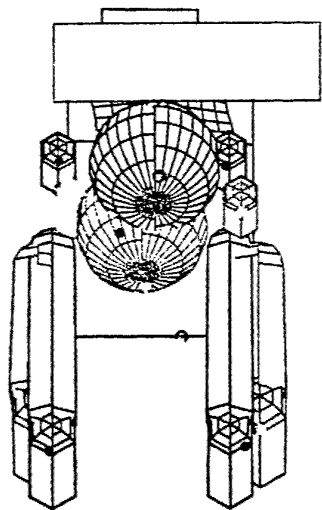
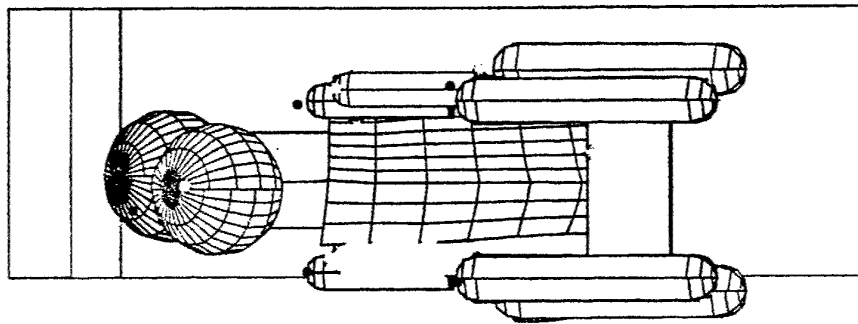




Abb. 16.2

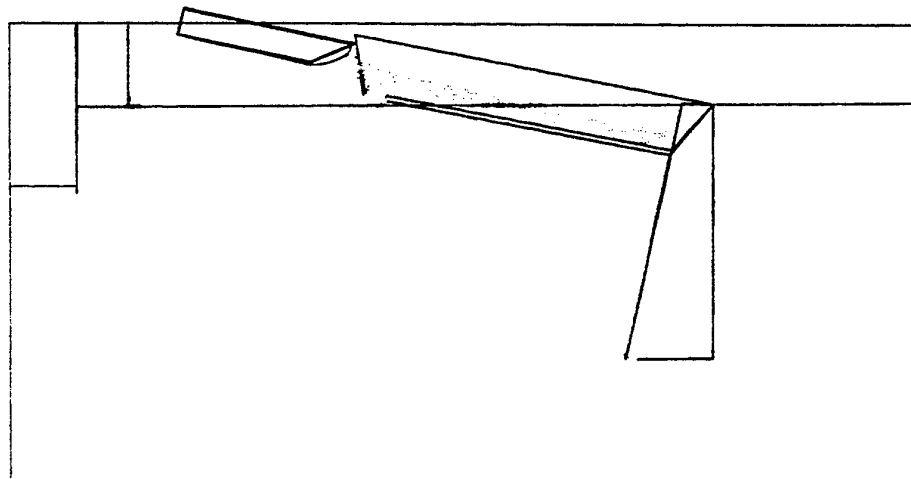
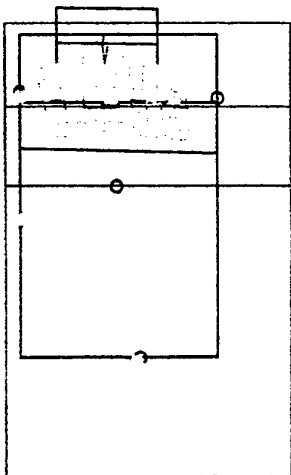
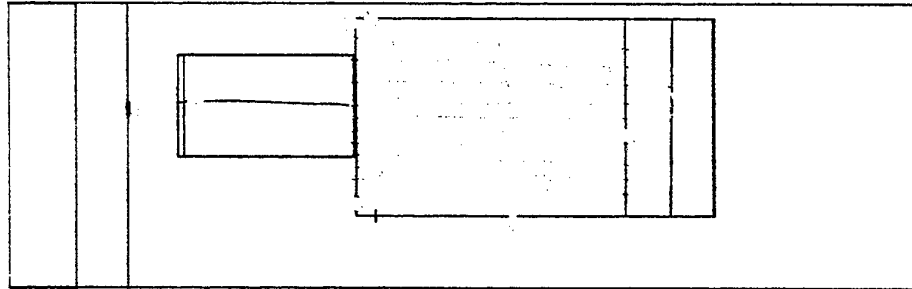


Abb. 17

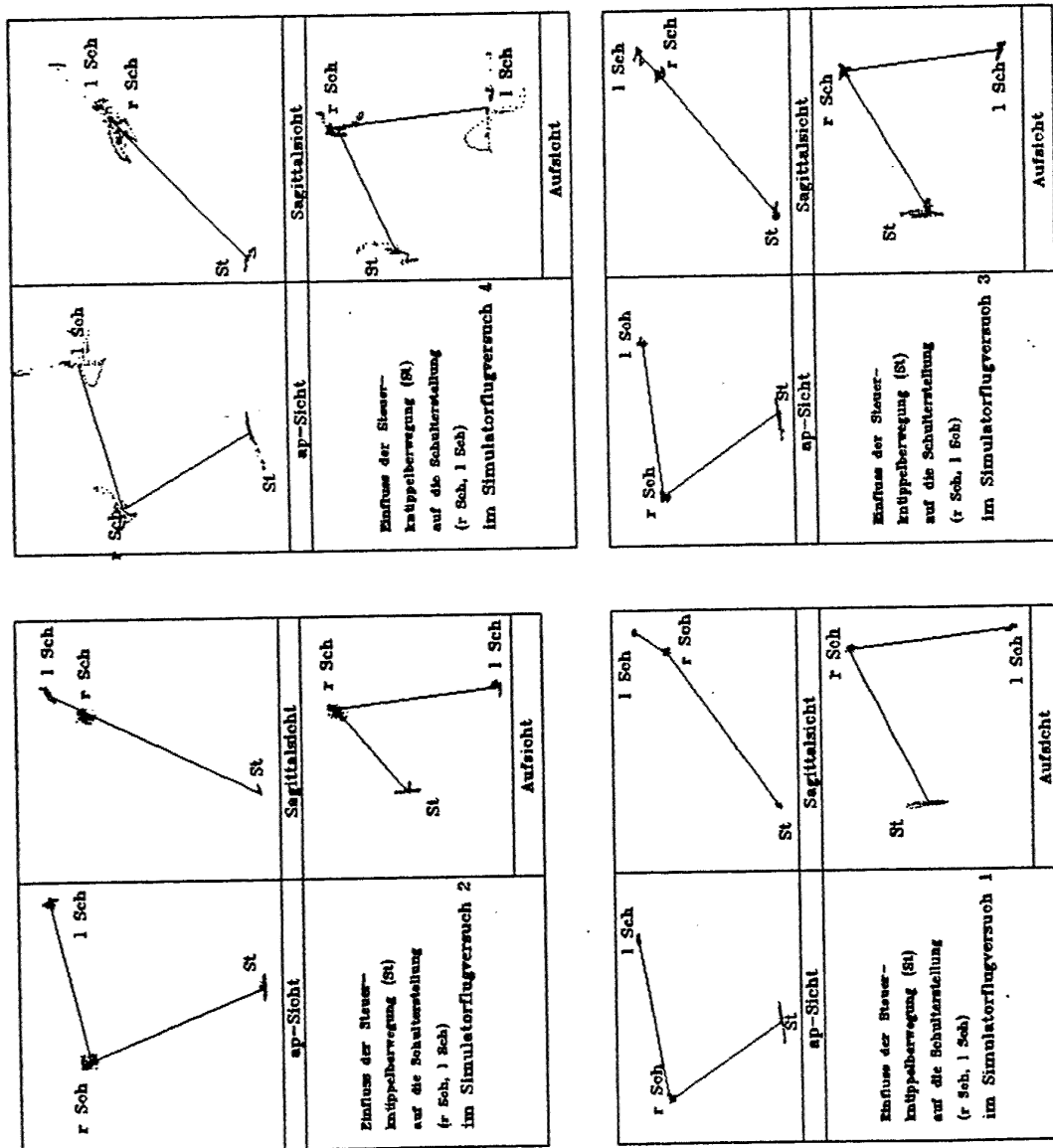
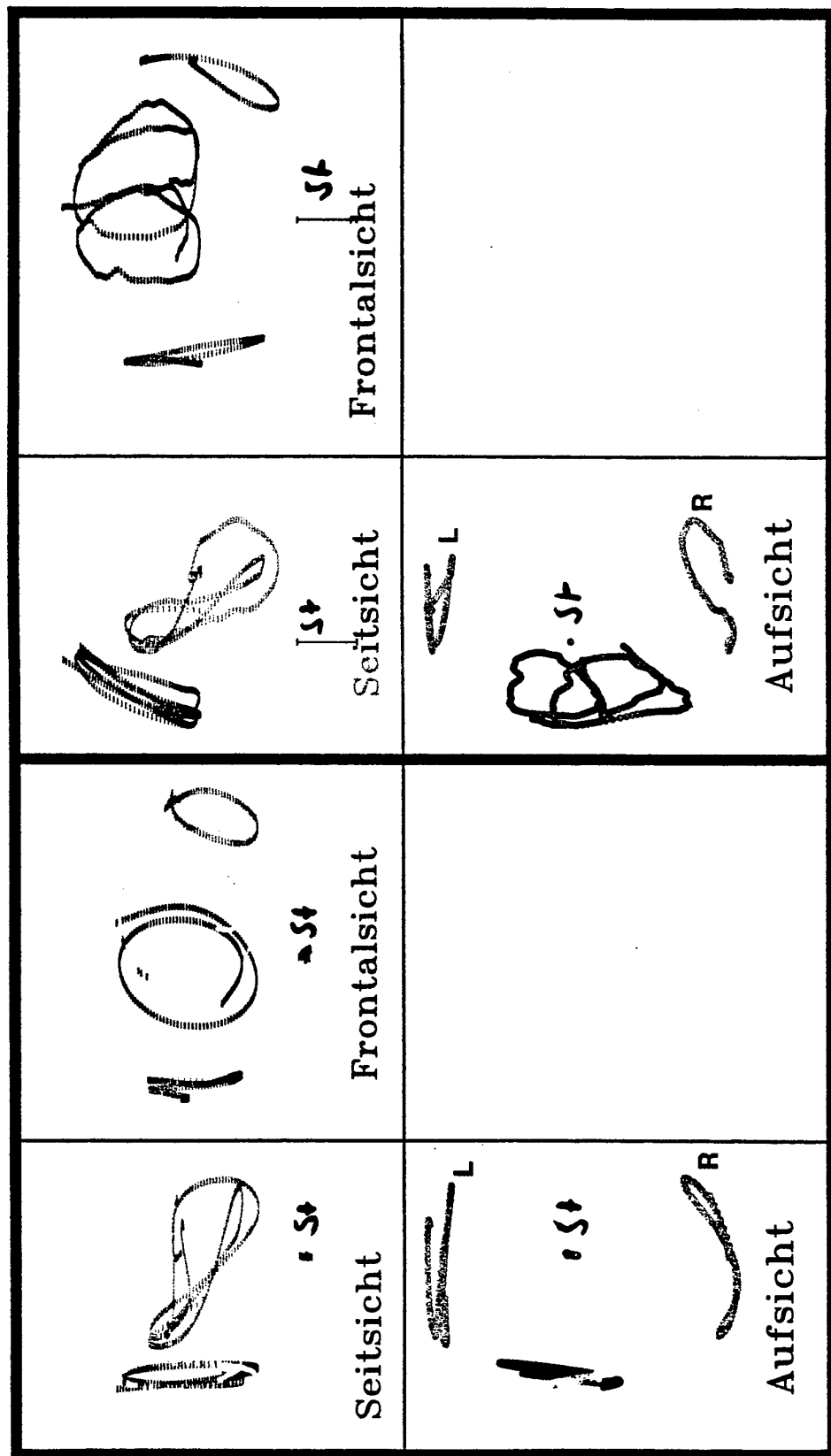


Abb. 18



Körperpunktbewegungen bei  
Hubschrauberpiloten im Simulator